



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y**  
**REDES**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ANTENA MICROSTRIP**  
**DE BANDA ANCHA PARA LA FRECUENCIA DE 2.4 GHz**  
**MEDIANTE EL ALGORITMO SLOT-LOADED”**

Trabajo de titulación presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y**  
**REDES**

**AUTORA:** ERIKA ANABEL ZURITA MONTES DE OCA

**TUTOR:** ING. HUGO MORENO AVILÉS

Riobamba – Ecuador

2017

**©2017, Erika Anabel Zurita Montes de Oca**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y**  
**REDES**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo tecnológico: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ANTENA MICROSTRIP DE BANDA ANCHA PARA LA FRECUENCIA DE 2.4 GHz MEDIANTE EL ALGORITMO SLOT-LOADED**, de responsabilidad de la señorita Erika Anabel Zurita Montes de Oca, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación

DR. WASHINGTON LUNA  
**DECANO DE LA FACULTAD DE**  
**INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

\_\_\_\_\_

ING. FRANKLIN MORENO  
**DIRECTOR DE LA ESCUELA DE**  
**INGENIERÍA ELECTRÓNICA,**  
**TELECOMUNICACIONES Y REDES**

\_\_\_\_\_

ING. HUGO MORENO  
**DIRECTOR DE TESIS**

\_\_\_\_\_

ING. JORGE YUQUILEMA  
**MIEMBRO DE TESIS**

\_\_\_\_\_

**Yo**, Erika Anabel Zurita Montes de Oca, soy responsable por las ideas, criterios, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo y el patrimonio del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Erika Anabel Zurita Montes de Oca

## **DEDICATORIA**

A Dios y la Virgen María por haberme dado fortaleza y paciencia para poder cumplir este objetivo. A mis padres por ser mi apoyo incondicional, y mi fuente de inspiración en todo momento, ya que son el pilar fundamental en todos los aspectos de mi vida. A mi hermano ya que me inspira a superarme, y a ser un buen ejemplo. A mis abuelitos que siempre han estado pendientes de mí. A mi novio que estuvo a mi lado en todo momento y me dio ánimos para superar momentos difíciles. A todos los amigos y familiares que formaron parte de esta etapa de mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

Mis más sinceros agradecimientos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, forjadora de mi educación, y mi segundo hogar. A todos los maestros que me brindaron sus conocimientos y consejos.

Un agradecimiento especial a mi Director de Tesis Ing. Hugo Moreno, quien con su guía, apoyo y paciencia contribuyó en gran manera al desarrollo de este trabajo.

Agradezco a mis padres por su apoyo moral y económico que me permitieron terminar esta etapa de mi vida. A mi hermano y demás familiares por el apoyo que me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera Universitaria.

## TABLA DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
FIRMA DE RESPONSABILIDADES.....	iii
RESPONSABILIDAD DE AUTOR.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xv
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	1

## CAPITULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1. Ondas electromagnéticas .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1.1. <i>Propagación de ondas electromagnéticas</i> .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1.2. <i>Clasificación de las ondas electromagnéticas</i> .....</b>	<b>7</b>
<b>1.2. Enlaces inalámbricos para la banda de 2.4 GHz.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.1. <i>Enlaces inalámbricos</i> .....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.2. <i>Estándar IEEE 802.11</i> .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.3. <i>Tecnología Wi-Fi</i> .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.3.1. Aplicaciones Wi-Fi .....</b>	<b>11</b>
<b>1.3. Teoría de antenas .....</b>	<b>12</b>

1.3.1.	<i>Fundamentos de antenas</i> .....	12
1.3.2.	<i>Tipos de Antenas</i> .....	15
1.4.	<b>Parámetros fundamentales de las antenas</b> .....	16
1.4.1.	<i>Impedancia</i> .....	16
1.4.2.	<i>ROE (Relación de onda estacionaria)</i> .....	17
1.4.3.	<i>Intensidad de Radiación</i> .....	18
1.4.4.	<i>Directividad</i> .....	18
1.4.5.	<i>Polarización</i> .....	19
1.4.6.	<i>Ancho de Banda</i> .....	20
1.4.7.	<i>Ganancia</i> .....	21
1.4.8.	<i>Eficiencia (e)</i> .....	21
1.4.9.	<i>Parámetro S</i> .....	22
1.4.10.	<i>Diagrama de Radiación</i> .....	22
1.4.10.1.	Antenas según su diagrama de radiación .....	23
1.4.10.2.	Parámetros del diagrama de radiación .....	25
1.4.10.3.	Regiones de radiación: campo cercano, campo lejano .....	26
1.5.	<b>Antenas Microstrip</b> .....	28
1.5.1.	<i>Principios Básicos</i> .....	28
1.5.2.	<i>Características de las antenas microstrip</i> .....	31
1.5.2.1.	Ventajas .....	31
1.5.2.2.	Desventajas .....	32
1.5.2.3.	Aplicaciones .....	33
1.5.3.1.	Tipos de Alimentación .....	34
1.5.3.2.	Tipos de ondas en las líneas de microstrip .....	37
1.5.4.	<i>Ancho de banda</i> .....	37

## CAPITULO II

### 2. DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA ANTENA MICROSTRIP DE BANDA ANCHA PARA LA FRECUENCIA DE 2.4 GHz MEDIANTE EL ALGORITMO SLOT LOADED ..

2.1.	<b>Principios de diseño mediante el algoritmo slot-loaded</b> .....	39
2.1.1.	<i>Diseño del patch</i> .....	39
2.1.2.	<i>Diseño de la antena</i> .....	42



<b>2.2. Simulación.....</b>	<b>43</b>
2.2.1. <i>Estructuras y Materiales .....</i>	44
2.2.2. <i>Alimentación y condiciones de contorno .....</i>	45
2.2.3. <i>Rango de frecuencias .....</i>	48
2.2.4. <i>Validación de la Simulación .....</i>	48
2.2.5. <i>Estructura definitiva de la antena .....</i>	49
2.2.6. <i>Determinación de resultados simulados .....</i>	50
2.2.6.1. Parámetro S .....	50
2.2.6.2. Parámetro Z.....	52
2.2.6.3. Diagrama de radiación .....	53

### **CAPITULO III**

<b>3. CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>57</b>
3.1. <b>Construcción de la antena microstrip .....</b>	<b>57</b>
3.1.1. <i>Selección de materiales .....</i>	59
3.1.2. <i>Procedimiento para la construcción .....</i>	59
3.2. <b>Pruebas y análisis de resultados.....</b>	<b>61</b>
3.2.1. <i>Descripción de los equipos de medición .....</i>	61
3.2.2. <i>Mediciones .....</i>	62
3.2.2.2. Segunda medición .....	65
3.2.2.3. Tercera medición.....	66
3.2.2.4. Cuarta medición .....	67
3.2.3. <i>Discusión de resultados .....</i>	70
3.2.3.2. Ancho de Banda .....	71
3.2.3.3. Influencia de los materiales en la antena.....	71
3.2.3.4. Costos de fabricación de la antena .....	72
3.3. <i>Sistematización del problema.....</i>	73
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>75</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>77</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Clasificación de las ondas electromagnéticas .....	7
Figura 2-1: Entornos de la tecnología Wi-Fi.....	11
Figura 3-1: Esquema de un sistema de comunicaciones por radiofrecuencia.....	12
Figura 4-1: Circuito equivalente de una antena .....	14
Figura 5-1: Polarización vertical, polarización horizontal .....	19
Figura 6-1: Polarización circular.....	20
Figura 7-1: Sistema de coordenadas esférico.....	23
Figura 8-1: Diagrama de radiación en coordenadas polares y cartesianas.....	23
Figura 9-1: Diagrama de Irradiación, a) Isotrópico, b) Omnidireccional, c) Directivo .....	24
Figura 10-1: Lóbulos de un patrón de radiación direccional .....	25
Figura 11-1: Ancho del Haz de un lóbulo de radiación .....	26
Figura 12-1: Regiones de campo de una antena.....	28
Figura 13-1: Estructura de una antena tipo patch.....	29
Figura 14-1: Alimentación por línea microstrip.....	35
Figura 15-1: Alimentación por conexión coaxial.....	35
Figura 16-1: Alimentación por apertura del plano a tierra.....	36
Figura 17-1: Acoplamiento por proximidad .....	36
Figura 1-2: Diseño original del algoritmo slot-loaded.....	39
Figura 2-2: Configuración de la antena.....	40
Figura 3-2: Vista lateral de la antena .....	42
Figura 4-2: Proceso de Simulación en HFSS.....	43
Figura 5-2: Esquema de la lista de materiales en ANSOFT HFSS .....	44
Figura 6-2: Primer diseño del parche.....	45
Figura 7-2: Vista lateral de la antena con alimentación coaxial .....	46
Figura 8-2: Puerto excitado de la antena.....	46
Figura 9-2: Condiciones de contorno de la antena.....	47
Figura 10-2: Estructura general de la antena.....	47
Figura 11-2: Asignación de frecuencias.....	48
Figura 12-2: Validación de la simulación .....	48
Figura 13-2: Malla de aproximación.....	49

Figura 14-2: Diseño final de la antena microstrip.....	50
Figura 15-2: Parámetro $S_{11}$ vs Frecuencia.....	51
Figura 16-2: VSWR (ROE) vs frecuencia .....	51
Figura 17-2: Parámetro Z, impedancia imaginaria e impedancia real.....	52
Figura 18-2: Diagrama de radiación en 2D en coordenadas polares.....	53
Figura 19-2: Polarización de la antena microstrip en coordenadas polares.....	55
Figura 20-2: Diagrama de radiación en 3D.....	55
Figura 21-2: a) Ganancia de la antena, b) Directividad de la antena.....	56
Figura 19-2: Distribución de la corriente en el parche de la antena microstrip .....	56
Figura 1-3: Exportación del diseño a AUTOCAD.....	57
Figura 2-3: Diseño de la antena microstrip en AUTOCAD.....	58
Figura 3-3: Fresadora láser .....	58
Figura 4-3: Conector SMA .....	59
Figura 5-3: Antena microstrip implementada .....	60
Figura 6-3: Ubicación de la antena en el analizador de espectro .....	62
Figura 7-3: Medición de resultados .....	63
Figura 8-3: Esquemas utilizados para las mediciones.....	64
Figura 9-3: Patrón de radiación de la antena microstrip con frecuencia de 2.4 GHz para $0^\circ$ Phi .....	64
Figura 10-3: Medición para la frecuencia 2.4 GHz.....	65
Figura 11-3: Patrón de radiación de la antena microstrip con frecuencia de 2.4 GHz para $90^\circ$ Phi. ....	66
Figura 12-3: Patrón de radiación con frecuencia de 2.4 GHz en el eje x, y .....	66
Figura 13-3: Barrido de frecuencias.....	68
Figura 14-3: Medición en la frecuencia de 2.2 GHz.....	69
Figura 15-3: Medición en la frecuencia de 2.6 GHz.....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Bandas de frecuencias .....	9
Tabla 2-1: Rango y flujo de datos de estándares IEEE 802.11 .....	10
Tabla 3-1: Bandas de frecuencias y longitudes de onda .....	13
Tabla 4-1: Tipos de antenas .....	15
Tabla 1-2: Medidas referenciales del parche.....	41
Tabla 2-2: Especificaciones de los materiales.....	43
Tabla 3-2: Dimensiones de la antena microstrip para la frecuencia de 2.4 GHz .....	49
Tabla 4-2: Resumen de los parámetros simulados de la antena microstrip.....	56
Tabla 1-3: Interpretación de valores de nivel de potencia de la señal.....	67
Tabla 2-3: Comparación de diagramas de radiación.....	70
Tabla 3-3: Comparación del ancho de banda simulado y real .....	71
Tabla 4-3: Influencia de los materiales en la antena .....	71
Tabla 5-3: Costos de fabricación.....	72

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1: Velocidad de onda electromagnética .....	6
Ecuación 2-1: Longitud de onda .....	13
Ecuación 3-1: Impedancia de entrada .....	17
Ecuación 4-1: Expresión para encontrar el ROE .....	17
Ecuación 5-1: Intensidad de radiación .....	18
Ecuación 6-1: Directividad .....	19
Ecuación 7-1: Ancho de Banda.....	20
Ecuación 8-1: Ganancia de una antena .....	21
Ecuación 9-1: Criterio Región reactiva de una antena.....	27
Ecuación 10-1: Criterio región radiante de campo cercano de una antena .....	27
Ecuación 11-1: Criterio región de campo lejano de una antena.....	27
Ecuación 12-1: Ancho del parche .....	30
Ecuación 13-1: Longitud del parche .....	30
Ecuación 14-1: Constante dieléctrica efectiva .....	31

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** Tabla de valores VSWR y pérdidas por retorno
- ANEXO B:** Resultados de la simulación
- ANEXO C:** Implementación de la antena microstrip

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>B, BW</b>	Ancho de banda
<b>C</b>	Velocidad de propagación en el medio (vacío)
<b>D</b>	Directividad
<b>EM</b>	Espectro Electromagnético
<b>dB</b>	Decibelios
<b>dB<sub>i</sub></b>	Decibelios en antenas isotrópicas
<b>dB<sub>d</sub></b>	Decibelios en antenas directivas
<b>E</b>	Campo eléctrico
<b>f</b>	Frecuencia
<b>Hz</b>	Hertzios
<b>H</b>	Campo magnético
<b>MHz</b>	Megahertzios
<b>PATCH</b>	O microstrip hace referencia a la tecnología de microlínea
<b>rE</b>	Dirección de propagación del campo eléctrico
<b>rH</b>	Dirección de propagación del campo magnético
<b>Z</b>	Impedancia
<b>Z<sub>e</sub></b>	Impedancia de entrada de una antena
<b>R<sub>a</sub></b>	Resistencia de la antena

<b><math>X_a</math></b>	Reactancia de la antena
<b>U</b>	Intensidad de radiación (W/unidades de ángulo sólido)
<b>Wi-Fi</b>	Tecnología de comunicación inalámbrica
<b><math>W_{\text{rad}}</math></b>	Densidad de radiación (W/m <sup>2</sup> )
<b>WLAN</b>	Redes de área local inalámbrica
<b>ROE</b>	Relación de onda estacionaria
<b><math>\lambda</math></b>	Longitud de onda



## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo principal el diseño y construcción de una antena microstrip de banda ancha que trabaje a la frecuencia de 2.4 GHz mediante el algoritmo SLOT-LOADED, que responde al desarrollo tecnológico que busca dispositivos cada vez más pequeños con buen rendimiento. Se analizó el algoritmo SLOT-LOADED para obtener el diseño básico de la antena y sus dimensiones. En el programa ANSOFT HFSS se realizó el diseño de todos los componentes de la antena incluyendo la sección de la alimentación coaxial, se optimizó las medidas de la antena microstrip hasta conseguir que trabaje a la frecuencia deseada con parámetros óptimos de funcionamiento, como son la frecuencia de resonancia, el ancho de banda, la ganancia, parámetro S, VSWR, patrón de radiación, los cuales fueron analizados uno por uno. En la simulación del diseño final se obtuvo un ancho de banda de 340 MHz con frecuencia centrar de 2.4 GHz, que inicialmente cumple con las expectativas de la simulación. Después de la etapa de simulación se realizó la construcción de la antena microstrip utilizando materiales de fácil adquisición y que cumplen con las características de diseño, la implementación de la antena se completó con las pruebas respectivas, utilizando un generador de señales y un analizador de espectro de marca ANRITSU facilitados por la Escuela de Electrónica Telecomunicaciones y Redes. Mediante las mediciones se pudo obtener valores de las frecuencias de operación y niveles de potencia de la señal recibida por la antena, con los cuales se realizó la interpretación de resultados a base de gráficas realizadas en el programa MATLAB. Los resultados de las pruebas con equipos de medición fueron satisfactorios ya que se obtuvo un ancho de banda de 450 MHz que se comprobó mediante la medición del nivel de potencia recibido. Se recomienda un análisis más profundo de resultados por medio de mediciones en entornos libres de interferencias y utilizando otro tipo de equipos que contienen más parámetros de medición.

**Palabras clave:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <ANTENAS>, < TECNOLOGÍA MICROSTRIP>, <SLOT-LOADED (ALGORITMO)> <ANCHO DE BANDA >, <DIRECTIVIDAD>, <PARÁMETRO S>, <GANANCIA>, <DIAGRAMA DE RADIACIÓN>, <FRECUENCIA>.

## SUMMARY

The main objective of the present work was the design and construction of a broadband microstrip antenna that works at the frequency of 2.4 GHz using the SLOT-LOADED algorithm, which responds to the technological development that looks for smaller and devices with good performance. The SLOT-LOADED algorithm was analyzed in order to obtain the basic design of the antenna and its dimensions. In the ANSOFT HFSS program the design of all antenna components including the coaxial feed section was optimized, the microstrip antenna measurements were optimized until it was able to work at the desired frequency with optimum operating parameters, such as the frequency of the resonance, the bandwidth, the gain, parameter S, VSWR, radiation pattern, which were analyzed one by one. In the simulation of the final design, a bandwidth of 340 MHz with center frequency of 2.4 GHz was obtained, which initially meets the expectations of the simulation. After the simulation of the microstrip antenna was made using materials of easy acquisition and that comply with the design characteristics, the implementation of the antenna was completed with the respective tests, using a signal generator and a spectrum analyzer of brand ANRITSU facilitated by the School of Electronics Telecommunications and Networks. Through the measurements, it was possible to obtain values of the interpretation of results was performed based on graphs made in the MATLAB program. The results of the tests with measuring equipment were satisfactory since a 450 MHz bandwidth was obtained which was verified by the measurement of the power level received. Further analysis of results is recommended by means of measurements in interference-free environments and using other types of equipment containing more measurement parameters.

**Palabras clave:** <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES>, <ANTENNAS>, <MICROSTRIP TECHNOLOGY>, <SLOT-LOADED (ALGORITHM)> <BANDWIDTH>, <DIRECTIVITY>, <S PARAMETER>, <GAIN>, <RADIATION PATTERN>, <FREQUENCY>.

## INTRODUCCIÓN

Las antenas componen el medio más efectivo y en la mayoría de los casos único para poder transmitir información sin necesidad de cableado y a largas distancia. Debido al constante crecimiento de las comunicaciones inalámbricas que demandan circuitos cada vez más prácticos, las antenas ocupan un lugar primordial para lograr una transmisión eficiente de la información. Cada antena posee distintos parámetros, los cuales juzgan su comportamiento.

Existen diferentes tipos de antenas que poseen características únicas para acoplarse a las diferentes aplicaciones que se requieren en la actualidad, algunas aplicaciones demandarán que se extienda en lo posible la potencia radiada, esto quiere decir que no deben ser directivas, y en otros casos se necesitará que sean directivas para canalizar la potencia en una dirección específica, esto es lo que hace que las antenas sean tan funcionales e importantes para todo tipo de comunicación inalámbrica.

Un tipo de antenas muy utilizadas en actualidad son las antenas microstrip, que desde su aparición han ido evolucionando conforme las nuevas tecnologías avanzan ya que se puede reducir su tamaño (al incrementarse la frecuencia de operación se puede conseguir antenas más pequeñas) y al mismo tiempo ir mejorando en sus características. Su uso es muy importante para aplicaciones que requieren tamaños compactos, por ejemplo: aeronáutica, satélites, dispositivos móviles, comunicaciones inalámbricas en general.

Algunas de las ventajas que este tipo de antenas pueden ofrecer son: tendencia a la miniaturización, fáciles de integrar tanto a superficies planas como no planas, de fácil producción en masa (por lo que los costos pueden ser muy reducidos), versátiles etc. En cuanto a las desventajas, la principal es el ancho de banda angosto, por esta razón los estudios e investigaciones para la mejora de los parámetros principales de este tipo de antenas siempre están a la vanguardia.

Una técnica exitosa, según Giuseppe Di Massa (2012, pp. 226-230), que mejora el ancho de banda disponible sin aumentar el tamaño del parche, consiste en la inclusión de una ranura en forma de U en la superficie del parche, a este diseño se lo llamo SLOT-LOADED. Existen varios métodos que permiten obtener este tipo de resultados, por eso es importante la revisión exhaustiva de las técnicas de mejora de ancho de banda en general, para así poder tener una comparación y poder optar por el que otorgue mejores resultados.

## **ANTECEDENTES**

El concepto de Antena Microstrip se lo propuso por primera vez en 1952. Sin embargo, no fue sino hasta la década de 1970 cuando se empezó el verdadero estudio de este tipo de antenas. Las numerosas ventajas de las antenas microstrip, tales como su bajo peso, pequeño volumen, facilidad de fabricación, y el aumento de los requisitos para las comunicaciones inalámbricas, condujeron a la ampliación de diseños para varias aplicaciones en la actualidad.

Aunque las características de las antenas microstrip hace que estas sean recomendadas y utilizadas en muchas aplicaciones, también es cierto que sufren de una limitación de ancho de banda con relación a las antenas de microondas normales.

Al hablar de banda ancha se tiene en cuenta si el sistema está pensado para operar con señales con alto contenido espectral, es decir, la cantidad de frecuencias en las que la antena puede funcionar con una eficiencia aceptable. Por esta razón los trabajos realizados acerca del diseño de antenas tipo parche de banda ancha son continuos.

Así, la ampliación del ancho de banda de elementos microstrip, en general, se ha convertido en una rama importante de las actividades en el campo de antenas impresas. Pero el avance en esta área es tan rápido que los nuevos estudios añaden nuevas técnicas, estructuras y resultados. Estos avances muestran la madurez de este campo de la investigación y también indican las lagunas junto con el alcance de los trabajos futuros, ya que siempre se estará buscando la mejora de este tipo de elementos esenciales para las comunicaciones inalámbricas en general.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El diseño de antenas microstrip que combine el tamaño compacto con las características de banda ancha se ha vuelto una parte muy importante en el área de las antenas, ya que en la actualidad los requerimientos tecnológicos para las distintas aplicaciones demandan antenas mucho más compactas y versátiles que puedan acoplarse fácilmente, sin disminuir las características propias de antenas de mayor tamaño.

Las investigaciones en el área de las antenas microstrip son muchas, y mediante estas, se logra obtener diferentes métodos que permiten obtener buenos resultados en cuanto a la mejora del ancho de banda, por esta razón es importante la revisión y estudio de estas nuevas técnicas, como lo es el algoritmo SLOT-LOADED el cual se va a utilizar en este trabajo, el mismo que ha mostrado buenos resultados para la mejora de este problema, siempre teniendo en cuenta la importancia y realce que se le debe dar a las tendencias y acontecimientos recientes en este campo.

Por esta razón se ha planteado el siguiente problema:

¿Se puede diseñar e implementar una antena microstrip mediante el algoritmo slot-loaded que combine el tamaño compacto con las características de banda ancha?

## **SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

- ¿El tamaño compacto de la antena influye directamente en el ancho de banda de las antenas microstrip?
- ¿Cuáles son los aspectos relevantes en el diseño de antenas compactas?
- ¿Los métodos existentes para mejorar el ancho de banda en antenas microstrip han tenido buenos resultados?
- ¿Cómo se puede aumentar el ancho de banda en antenas microstrip?
- ¿Cuál sería la principal escalabilidad de una antena microstrip compacta?

## **JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

El trabajo propuesto busca mediante la aplicación de los conceptos básicos de antenas, e investigaciones recientes que han generado buenos resultados en cuanto a la mejora de las características de antenas microstrip, encontrar un diseño que permita obtener un mayor ancho de banda que es la principal falencia de este tipo de antenas.

La tecnología microstrip en la cual están basadas las antenas tipo parche desde sus inicios ha generado gran interés ya que se presentó como una buena opción a la hora de querer generar antenas más pequeñas, así como también sus líneas de transmisión, lo cual proporciona sin dudas un mejor acoplamiento a cualquier tipo de dispositivos que requieran de una comunicación inalámbrica.

Este tipo de antenas consiste en un parche metálico el cual puede ser de geometrías muy variadas, éste es alimentado y colocado sobre un substrato dieléctrico el cual permite la obtención de antenas con buena eficiencia y ancho de banda, el mismo que es elegido según la permitividad relativa que es un parámetro muy importante, el dieléctrico a su vez está ubicado encima de un plano referenciado a tierra. Existen varios diseños que se ajustan al tipo de aplicación en la cual se vaya a utilizar.

Las antenas patch al irradiar energía, se produce el movimiento de campos que se trasladan entre el borde del patch y el plano de tierra. Para un buen funcionamiento de las antenas como se dijo anteriormente, se sugiere la elección de un substrato dieléctrico grueso, que tenga una constante dieléctrica baja, esto en conjunto con el diseño de anillos que posee el algoritmo SLOT-LOADED proporciona una mejor eficiencia, un ancho de banda más grande y una mejor radiación.

Sin embargo, hay que saber trabajar correctamente con este algoritmo para que las dimensiones de la antena no se incrementen, ya que el principal objetivo al utilizar las antenas microstrip es el aumento del ancho de banda sin que esto incremente su tamaño.

## **JUSTIFICACIÓN APLICATIVA**

En los últimos años se ha ido incrementando los estándares de comunicaciones debido a la demanda de nuevos servicios por parte de los usuarios, como consecuencia de ellos, el diseño de antenas de banda ancha y antenas multibanda, capaces de operar simultáneamente bajo múltiples estándares y con buenas características, ha cobrado gran interés.

En todo tipo de aplicaciones inalámbrica en donde el tamaño de la antena, el peso, coste, rendimiento, facilidad de instalación sea necesario, se introduce las antenas microstrip, es por ésta razón el interés que se tiene en lograr la mejora en sus características. Los trabajos realizados en esta área son continuos, y aparecen nuevos mecanismos que arrojan buenos resultados, siempre se querrán poner a prueba y aplicarlos a temas de estudio en donde se pueda hacer comparaciones y poder sacar así nuestras propias conclusiones.

Estas antenas de bajo perfil, se utilizan en superficies planas y superficies no planas, son simples y baratas de fabricar utilizando la tecnología de circuito impreso moderno o simplemente impresas manualmente, se utilizan en aeronaves, móviles, WLAN, biomedicina, etc. Los diseños de este tipo de antenas son numerosos, así que es muy sencillo encontrar antenas de este tipo que se ajusten a nuestros requerimientos, o conseguir diseños propios con conocimientos de teoría de antenas.

Mecánicamente son resistentes cuando se monta en superficies rígidas, son fácilmente moldeables a las estructuras, en cuanto a la frecuencia de resonancia se las emplea en UHF o frecuencias más altas, debido a que el tamaño de la antena está ligado directamente a la longitud de onda a la frecuencia de resonancia.

Si bien es cierto, las antenas microstrip poseen sus limitantes debido a la búsqueda de un tamaño más compacto, esto no se puede considerar como una desventaja ya que otro tipo de antenas comprometen el tamaño y la versatilidad para mantener buenas características de funcionamiento.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVOS GENERALES**

Diseñar e implementar una antena microstrip de banda ancha para la frecuencia de 2.4 GHz mediante el algoritmo slot-loaded.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudiar el estado del arte para un mejor entendimiento de conceptos básicos de antenas
- Analizar los diversos modelos y métodos de diseño de antenas microstrip.
- Diseñar un modelo adecuado para la antena microstrip de banda ancha.
- Simular la antena con los parámetros diseñados.
- Analizar los resultados para ver si es necesario parametrizar la antena.
- Realizar las pruebas necesarias al momento de implementar la antena.

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Ondas electromagnéticas

##### 1.1.1. *Propagación de ondas electromagnéticas*

En el mundo de las comunicaciones estamos frente a situaciones cotidianas como contestar el teléfono móvil, encender la radio, o simplemente manipular la TV con el control remoto, todo esto se lo puede hacer gracias a la manipulación de las ondas electromagnéticas.

Las ondas electromagnéticas consisten en campos eléctricos y magnéticos oscilatorios que están en ángulo recto entre sí y también son perpendiculares a la dirección de propagación de la onda, a diferencia de las ondas elásticas, las ondas electromagnéticas no requieren necesariamente un medio material para su propagación. Las Ecuaciones de Maxwell son las que explican cómo los campos eléctricos y magnéticos son capaces de propagarse en forma de onda, ya que una onda electromagnética se genera cuando cargas eléctricas son aceleradas, y cuya velocidad en el vacío se muestra en la ecuación 1-1.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

**Ecuación 1-1:** Velocidad de onda electromagnética

**Donde:**

$\mu_0$  : Permeabilidad magnética en el vacío igual a  $4\pi \times 10^{-7}$

$\epsilon_0$  : Constante dieléctrica del vacío igual a  $8.85 \times 10^{-12}$

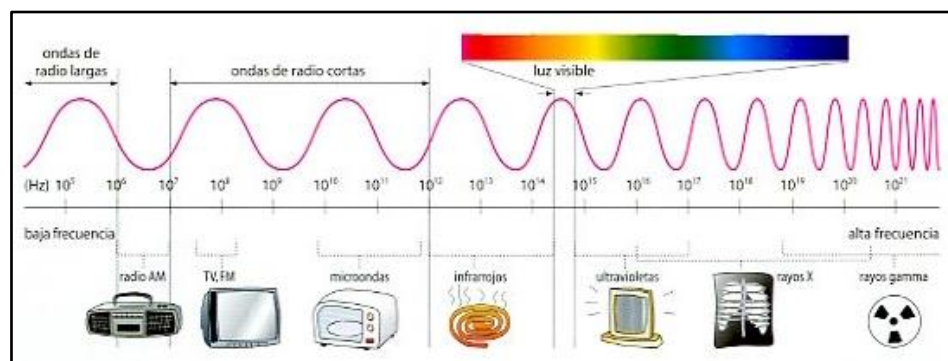


Con lo que se concluyó que la velocidad de onda electromagnética en el vacío es aproximadamente  $3 \times 10^8$  m/s.

Existen varios tipos de ondas electromagnéticas las cuales Maxwell agrupó en lo que llamó Espectro electromagnético (EM), y aunque se clasifica en 7 formas distintas son todas manifestaciones del mismo fenómeno.

### 1.1.2. Clasificación de las ondas electromagnéticas

La clasificación de las ondas electromagnéticas se realiza de acuerdo a su frecuencia y longitud de onda formando un rango de señales (Figura 1-1).



**Figura 1-1:** Clasificación de las ondas electromagnéticas

Fuente: [http://www.quimicaweb.net/grupo\\_trabajo\\_ccnn\\_2/tema5/tema5.htm](http://www.quimicaweb.net/grupo_trabajo_ccnn_2/tema5/tema5.htm)

- **Ondas de radio AM:** Son las ondas de menos frecuencia del espectro EM, estas ondas adquieren su nombre porque se emplean en la radiodifusión de larga distancia, también se emplean para teléfonos celulares o televisión, este tipo de ondas son creadas por circuitos oscilantes que generan los campos necesarios para su propagación. Su longitud de onda está entre los 200 y 600 metros.
- **Ondas de radio FM y TV:** Son ondas similares a las anteriores, sin embargo, se diferencian por dos aspectos básicamente, en este tipo de ondas se varía la frecuencia en vez de la amplitud y la longitud de onda es mucho menor a la anterior, esta se encuentra en el rango de 10 a 50 metros.

- **Microondas:** Las microondas son las ondas cuya frecuencia está en el orden de los  $10^8$  y  $10^{12}$  Hz, a diferencia de las ondas de radio, las microondas miden hasta 30 cm y estas son capaces de atravesar obstáculos que interfieren con las ondas de radio, como nubes, humo y lluvia, son comúnmente utilizadas para los radares, comunicaciones satelitales, redes de área local inalámbrica WLAN, transmisión de datos de computadora, etc.
- **Rayos infrarrojos:** La radiación infrarroja se encuentra entre la luz visible y las ondas de radio del espectro radioeléctrico. La radiación infrarroja tiene longitudes de onda desde milímetros hasta longitudes microscópicas, esta radiación no se puede ver, pero en ocasiones se puede sentir en forma de calor, es por esto que se la utiliza para hacer detecciones nocturnas donde la luz visible es insuficiente.
- **Luz visible:** Es un tipo de onda electromagnética que está conformada por la asociación de diferentes ondas las cuales oscilan a diferentes frecuencias, formando así la gama de colores que es percibida por el ojo humano, por ejemplo, el arco iris.
- **Onda ultravioleta:** Tienen longitudes de onda incluso más cortas que la luz visible, causan quemaduras solares y pueden producir cáncer. Detectar rayos UV ayuda a los astrónomos a aprender sobre la estructura de las galaxias. Es un tipo de radiación invisible al ojo humano.

## 1.2. Enlaces inalámbricos para la banda de 2.4 GHz

### 1.2.1. Enlaces inalámbricos

A medida que la tecnología avanza se espera que las comunicaciones inalámbricas vayan superando y tomando más espacio sobre las interfaces cableadas, ya que nos brindan la capacidad de cubrir grandes distancias y entornos que son difíciles de llegar, y evitar los grandes costos que conlleva las conexiones cableadas.

Todas las transmisiones inalámbricas que existen se dan gracias al espectro radioeléctrico por el cual, las ondas que se caracterizan por su frecuencia de oscilación y longitud de las mismas, se propagan de manera eficiente, hay que recordar que el espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado y

que debe ser correctamente administrado por los estados que se encargan de su gestión, por esta razón se lo ha dividido en franjas o bandas de frecuencia (Tabla 1-1) para su correcto funcionamiento.

**Tabla 1-1:** Bandas de frecuencias

VLF	LF	MF	HF	VHF	UHF	SHF	EHF
MUY BAJA FRECUENCIA	BAJA FRECUENCIA	MEDIA FRECUENCIA	ALTA FRECUENCIA	MUY ALTA FRECUENCIA	ULTRA ALTA FRECUENCIA	SUPER ALTA FRECUENCIA	EXTREMA ALTA FRECUENCIA
Rangos de frecuencias							
3 - 30	30 - 300	300 - 3000	3 - 30	30 - 300	300 - 3000	3 - 30	30 - 300
KHz			MHz			GHz	
SERVICIOS TÍPICOS							
Radioayuda, comunicación submarina, geofísica.	Radiodifusión en AM (onda larga), Radioafición.	Radioafición AM (onda media).	RFID, radar, telefonía móvil y marina	FM, televisión, comunicaciones con aviones, telefonía móvil marítima y terrestre.	Comunicaciones por microondas, radioastronomía, redes inalámbricas, bluetooth,	Comunicaciones por satélite, televisión por satélite	Radioastronomía, transmisión por microondas de alta frecuencia, teledetección.

**Fuente:** Elaboración propia.

Las aplicaciones fundamentales que permiten la comunicación se dan mediante sistemas inalámbricos, algunas de las más importantes son los sistemas por satélite, sistemas por microondas, comunicaciones celulares, redes de área local (LAN), redes de área extendida (WLAN), sistemas radioeléctricos y ópticos etc.

Las redes WLAN con respecto a las redes LAN, poseen algunas ventajas entre las que están: dinamismo para establecer su ubicación, fácil instalación, aunque al principio puede abarcar costos por los equipos, pero con el tiempo se verá el verdadero ahorro al no tener que realizar mantenimiento de cableado, configuración flexible y escalabilidad pues permite llegar donde el cable no puede.

Así mismo las redes WAN se puede adaptar a varias estructuras para diferentes aplicaciones e instalaciones específicas.

Los sistemas WLAN utilizan las bandas de radiofrecuencia ISM (Industrial, Scientific AND Medical), en las bandas de 2,4 y 5 GHz. Estas bandas permiten el funcionamiento de sistemas sin licencia y atendiendo a la normativa propias de cada país.

### 1.2.2. Estándar IEEE 802.11

Dentro de las redes de área local WLAN se encuentra el protocolo IEEE 802.11 que permite un ancho de banda de 1 a 2 Mbps, de este protocolo aparecen otros grupos derivados que tiene como objetivo la mejora de características, los más importantes que se han considerado como estándares son el 802.11a, 802.11b y 802.11g (Reynolds, 2003).

El estándar IEEE 802.11a trabaja en la banda de los 5 GHz y tiene sus ventajas ya que alcanza velocidades de 54 Mbps, así que tiene un mayor desempeño, y al no trabajar en la banda de 2.4 GHz presenta menos interferencias, pero también tiene sus desventajas, una de ellas es que los equipos que trabajan con este estándar necesitan un mayor número de puntos de acceso dado que sus ondas son más fácilmente absorbidas.

El estándar IEEE 802.11b de la red de área local inalámbrica opera en el rango de los 2.4 GHz (de 2.4 a 2.483 GHz). La capa física del IEEE 802.11b soporta teóricamente hasta 11 Mbits/s y en su modo extendido 22 Mbits/s, pero en la práctica es difícil superar un ancho de banda efectivo de 7 Mbps. Se lo utiliza donde los requerimientos de cobertura son amplios.

En si todos los estándares tienen sus ventajas y desventajas que según sus características se los utiliza para incorporarlos a distintos dispositivos. En la Tabla 2-1 se muestra los estándares más conocidos con el rango de trabajo y flujo de datos.

**Tabla 2-1:** Rango y flujo de datos de estándares IEEE 802.11

<b>Estándar</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Rango</b>
<b>WiFi a (802.11a)</b>	5 Ghz	54 Mbit/s	10 m
<b>WiFi B (802.11b)</b>	2,4 Ghz	11 Mbit/s	100 m
<b>WiFi G (802.11g)</b>	2,4 GHz	54 Mbit/s	100 m

**Realizado por:** Elaboración propia

**Fuente:** <http://es.ccm.net/contents/789-introduccion-a-wi-fi-802-11-o-wifi>

### 1.2.3. Tecnología Wi-Fi

WiFi es un conjunto de normas y especificaciones basadas en el estándar IEEE 802.11, que actúa en la capa física y el enlace del modelo OSI. Sus versiones 802.11b y 802.11g disfrutaron de una aceptación muy grande, debido a que trabajan en la banda 2.4 GHz, disponible casi universalmente. Esta tecnología es muy insegura y puede sufrir interferencias causadas por los hornos, microondas, teléfonos móviles y otros dispositivos o por las condiciones del entorno (Andreu, 2010: 214).

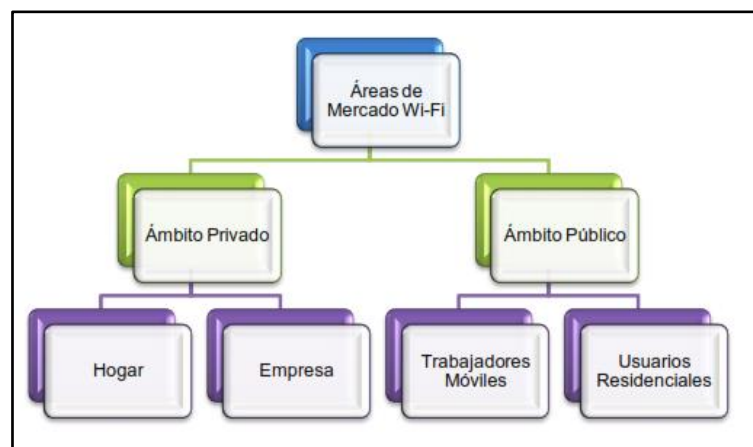
La tecnología Wi-Fi puede utilizarse para cualquier tipo de red, solo requiere más puntos de acceso que gestionen la comunicación entre los distintos terminales de la red, estos se colocan según la distancia que se pretenda cubrir, no obstante, suele utilizarse principalmente para redes de tipo local.

En práctica Wi-Fi admite cualquier tipo de dispositivo de alta velocidad con propiedades de conexión también de alta velocidad (11 Mbps o superior).

Una de las principales desventajas de esta red es la seguridad, ya que existen un sin número de programas que pueden capturar paquetes que viajan por la red y que no son debidamente encriptadas.

#### 1.2.3.1. Aplicaciones Wi-Fi

Las aplicaciones Wi-Fi pueden extenderse a prácticamente todas las áreas, en la Figura 2-1 se muestra los entornos de aplicación de la tecnología Wi-Fi.



**Figura 2-1:** Entornos de la tecnología Wi-Fi

Fuente: (Vaca y Venegas 2011, p.5)

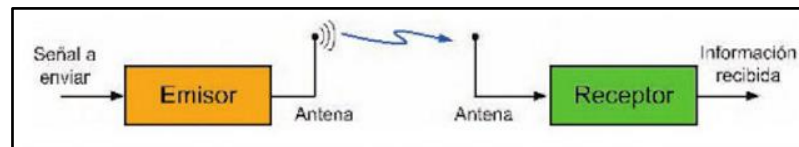
### 1.3. Teoría de antenas

#### 1.3.1. Fundamentos de antenas

Existen muchos conceptos para definir lo que son las antenas, se tratara de buscar los conceptos que más simplicidad le den a esta área tan importante de las telecomunicaciones. El IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) define una antena como “aquella parte de un sistema transmisor o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas” (IEEE Std. 145-1983).

La función principal de las antenas es radiar la potencia que se le suministra con la direccionalidad y características que requiere una aplicación.

El funcionamiento básico de una antena consiste en la generación de señales eléctricas por el transmisor, estas son moduladas según el sistema que se emplee, las señales son enviadas a través de líneas de transmisión que las transforma en señales de radiofrecuencia que puede ser propagada en el espacio libre o a través de la superficie terrestre. Un esquema básico que muestra el comportamiento de una antena se lo muestra en la figura 3-1.



**Figura 3-1:** Esquema de un sistema de comunicaciones por radiofrecuencia

Fuente: (Gallardo 2015, p.78)

Las características de una antena dependen de la relación entre sus dimensiones y longitud de onda de la señal en radiofrecuencia transmitida o recibida. Si las dimensiones de la antena son mucho más pequeñas que la longitud de onda, las antenas se denominan elementales. Si tienen dimensiones del orden de media longitud de onda se llaman resonantes. Si, por último, su tamaño es mucho mayor que la longitud de onda, son directivas (Gallardo, 2015:115).

Las ondas electromagnéticas en el espacio libre se caracterizan por su frecuencia ( $f$ ) y longitud de onda ( $\lambda$ ):

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

**Ecuación 2-1:** Longitud de onda

donde c es la velocidad de propagación constante de aproximadamente  $3 \times 10^8$  m/s. El conjunto de todas las frecuencias, y sus rangos de longitud de onda se presentan en la tabla 3-1. La longitud de onda es un dato muy importante en el comportamiento de la línea de transmisión. En la práctica las dimensiones de una antena son alrededor de  $1/8 \lambda$  y una  $\lambda$ , al disminuirse estas dimensiones la eficiencia de la antena tiende a reducirse considerablemente.

**Tabla 3-1:** Bandas de frecuencias y longitudes de onda

BANDA	FRECUENCIA	LONG. DE ONDA
ELF	<3 kHz	>100 km
VLFF	3-30 kHz	100-10 km
LF	30-300 kHz	10-1 km
MF	0,3 -3 MHz	1.000-100 m
HF	3-30 MHz	100-10 m
VHF	30-300 MHz	10-1 m
UHF	0,3 -3 GHz	100-10 cm
SHF	3-30 GHz	10-1 cm
EHF	30-300 GHz	10-1 mm

**Fuente:** (Cardama et al, 2002: p.16)

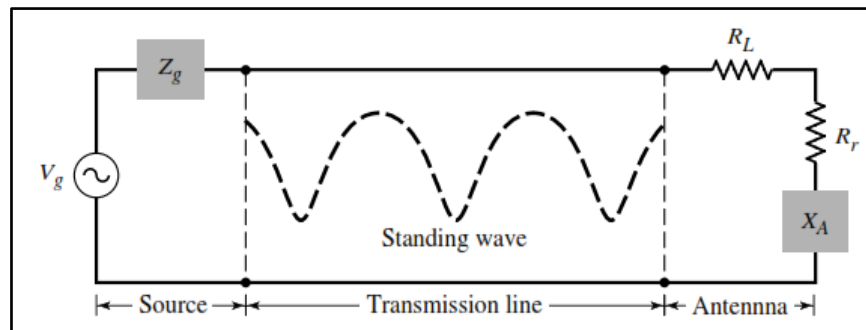
Las ecuaciones de Maxwell relacionan los campos eléctricos y magnéticos con las cargas y corrientes que los crean. La solución a las ecuaciones da lugar a formas de onda.

- Guiadas (líneas de transmisión, guías de ondas)
- Libres en el espacio (antenas)

La transferencia de energía debe realizarse con la mayor eficiencia posible, por esta razón el diseño de la antena debe ser preciso para que así el acoplamiento entre las impedancias de los diversos elementos del sistema sea óptimo, de no ser así, una parte importante de la energía recibida o transmitida será reflejada en las líneas de transmisión dando lugar a ondas estacionarias que no contribuyen a la energía útil y que, además, son causa de distorsiones en la señal transportada y de

pérdidas por mal funcionamiento de los diversos componentes del sistema línea-antena (Monachesi et al, 2011, p.2).

El circuito equivalente para una antena tanto transmisora como receptora se muestra en la figura 4-1.



**Figura 4-1:** Circuito equivalente de una antena

Fuente: (Balanis 2005, p.3)

La fuente es representada por un generador ideal, la línea es representada por una impedancia característica  $Z_C$ , la antena es representada por una impedancia  $Z_A$  compuesta de 3 impedancias en serie:  $R_L$ ,  $R_r$ ,  $X_A$ . La impedancia de carga  $R_L$  representa las pérdidas por conductor y por dieléctrico.

$R_r$  es la llamada resistencia de radiación y es una resistencia ficticia utilizada para justificar la potencia que es radiada al espacio. La reactancia  $X_A$  es utilizada para representar la parte imaginaria de la radiación o potencia reactiva (Balanis 2005, p.3).

En condiciones ideales se esperaría que la potencia que se genera en la fuente se transmita totalmente, pero esto no pasa debido a que existen pérdidas por líneas de transmisión que se puede reducir utilizando líneas de transmisión de bajas pérdidas, también existen pérdidas por el entorno donde se instala las antenas lo cual se puede evitar instalando antenas lejos de estructuras de metal o instalándolas muy alto de la superficie.

Al momento que se generan pérdidas y no toda la potencia puede ser transmitida se generan dos tipos de ondas que viajan en direcciones opuestas: ondas que se transmiten de la de la fuente a la carga y la que se reflejan en la dirección contraria, las cuales pueden ser constructivas o destructivas, que conlleva a la aparición de las ondas estacionarias.







Para un sistema de comunicaciones la antena es un elemento fundamental, si se logra un buen diseño se reflejará en la mejora del rendimiento del sistema en general.

### 1.3.2. Tipos de Antenas

Existen una gran variedad de antenas y muchas formas de clasificarlas, y solo dependerá de las características que se requiera obtener para poderlas elegir. A continuación, se muestra la clasificación (Tabla 4-1) desde el punto de vista de las características que poseen como su frecuencia y tamaño.

**Tabla 4-1:** Tipos de antenas

TIPOS DE ANTENAS	DIMENSIONES	FRECUENCIA DE TRABAJO	EJEMPLOS	
ANTENAS PEQUEÑAS	Menores que $\lambda/2$	-Frecuencias bajas	-Dipolo corto -Monopolo corto -Antenas de bobina	
ANTENAS RESONANTES	Orden de $\lambda/2$	-Con diferentes estructuras trabajan en todas las bandas de frecuencia, pero tienen una banda limitada alrededor de la frecuencia de resonancia.	-Dipolos -Monopolos -Anillos -Hélices -Microstrip	 
ANTENAS DE BANDA ANCHA E INDEPENDIENTES DE LA FRECUENCIA	Diferentes tamaños	-Abarcan muy diversas frecuencias -Por ejemplo, las antenas log-periódicas que trabajan en los canales de TV en VHF Y UHF (30 MHz hasta 3 GHz)	-Antenas de onda progresiva -Antenas espiral -Antena log-periódica	 

<b>ANTENAS GRANDES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Dimensiones mucho mayores que <math>\lambda/2</math></li> <li>-A mayor diámetro, mayor directividad o ganancia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Suelen ser utilizadas para frecuencias altas y tienen una ganancia elevada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bocinas</li> <li>-Parabólicas</li> </ul>	
<b>AGRUPACIÓN DE ANTENAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se utilizan en grandes antenas que agrupa a pequeñas antenas idénticas trabajando en grupo, en conjunto se comportan como una única antena.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cualquier frecuencia, dependerá del diseño</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Agrupación de parches</li> <li>-Agrupación lineal</li> <li>-Agrupación de ranuras</li> </ul>	
<b>SISTEMAS DE ANTENAS INTELIGENTES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Son una combinación de array de antenas y un Procesador digital de señales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El trabajo en frecuencias bajas es difícil debido al tamaño de la estructura.</li> <li>-Se las utiliza mucho más para comunicaciones móviles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Sistemas inteligentes MIMO</li> <li>-Haz conmutado</li> <li>-Haz de seguimiento</li> </ul>	 

**Realizado por:** Elaboración propia.

**Fuente:** <http://es.slideshare.net/edisoncoimbra/65-tipos-mas-comunes-de-antenas>

#### 1.4. Parámetros fundamentales de las antenas

Básicamente los parámetros de las antenas nos sirven para poder saber el comportamiento que tiene determinada antena, estos parámetros son prácticamente iguales para antenas de recepción como de transmisión. Es importante comprender este tipo de parámetros ya que mediante éstos podemos ver si la antena está operando correctamente y con las especificaciones que requiere cierto sistema de comunicación en el que va a funcionar.

##### 1.4.1. Impedancia

La impedancia de una antena  $Z_e$  se define como la relación entre la tensión y la corriente en sus terminales de entrada (Ecuación 3-1), generalmente esta impedancia es compleja, la parte real  $R_a$  se

denomina resistencia de antena y la parte imaginaria  $X_a$  reactancia de antena, tanto la parte imaginaria como la parte real son dependientes de la frecuencia. Si  $Z_e$  no presenta parte imaginaria a una frecuencia determinada, se dice que es una antena resonante (Cardama et al, 2002, p.17).

$$Z_e = \frac{V_e}{I_e} = R_a + jX_a$$

**Ecuación 3-1:** Impedancia de entrada

#### **1.4.2. ROE (Relación de onda estacionaria)**

La razón de onda estacionaria es una característica de la antena que indica el grado de adaptación de la antena con el resto del medio. Mientras mayor sea el grado de adaptación, menor potencia será reflejada y, por lo tanto, mayor cantidad de ésta será irradiada por la antena al espacio libre. El ROE depende del coeficiente de reflexión de voltaje.

Cundo el ROE es igual a uno implica que la antena está completamente adaptada y un 100 % de la potencia está siendo transmitida. Esto ocurre en un caso ideal, la práctica, un buen nivel de adaptación se logra con un ROE igual a 2, que equivale a que aproximadamente el 90 % de la potencia transmitida está siendo irradiada por la antena. Por lo que se debe tener un valor de ROE menor o igual a 2 para considerar a las antenas con un buen nivel de adaptación.

El ROE se lo puede relacionar con diferentes ecuaciones, pero generalmente ROE es la relación de la energía emitida por el equipo y la cantidad de energía reflejada de vuelta por la antena. EL ROE se lo va a expresar mediante la ecuación 4-1.

$$ROE = \frac{1 + \sqrt{\frac{Pr}{Pd}}}{1 - \sqrt{\frac{Pr}{Pd}}}$$

**Ecuación 4-1:** Expresión para encontrar el ROE

**Donde:**

**Pr:** potencia reflejada

**Pd:** potencia directa (entregada)

#### ***1.4.3. Intensidad de Radiación***

Una de las características principales de una antena es la capacidad que tiene para radiar con una cierta dirección, a esto se lo llama intensidad de radiación.

La intensidad de radiación se define como “la potencia radiada por una antena por unidad de ángulo sólido”, la intensidad de potencia se mide en el campo lejano donde la potencia que se radia es en su mayoría radiactiva (Balanis 2002, p.40).

La ecuación de la intensidad de radiación se puede expresar en términos simples de la siguiente forma (Ecuación 5-1).

$$U = r^2 W_{rad}$$

**Ecuación 5-1:** Intensidad de radiación

**Donde:**

**U:** Intensidad de radiación (W/unidades de ángulo sólido)

**W<sub>rad</sub>:** Densidad de radiación (W/m<sup>2</sup>)

#### ***1.4.4. Directividad***

La directividad de la antena es la relación entre la concentración o densidad de la potencia radiada en una dirección particular, también se puede entender como la habilidad de la antena de direccionar la

energía en una dirección específica, se suele expresar en unidades logarítmicas dBi (decibelios con respecto a la antena isotrópica).

Por la propia definición de la directividad, ésta tiene que ser siempre mayor a uno (igual que el caso ideal que la antena isotrópica) o expresando en dBi mayor o igual a 0 dBi (Sanmartín y Castañer 2010, p.6). La directividad se suele expresar mediante la ecuación 6-1 que es el cociente entre la ganancia y la eficiencia de la antena.

$$D = \frac{G}{e}$$

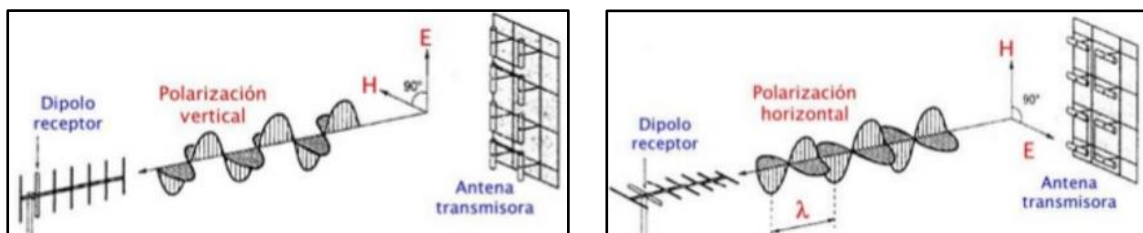
**Ecuación 6-1:** Directividad

#### **1.4.5. Polarización**

La polarización se define como la orientación del campo eléctrico de una onda electromagnética al salir de la antena, de una forma más concreta, es la orientación que presentan los campos eléctricos y magnético. Hay dos tipos básicos de polarización, lineal y circular.

Con la polarización lineal, el vector del campo eléctrico no varía del eje de la antena, en este tipo de polarización el campo eléctrico puede posicionar a la antena en una orientación vertical u horizontal (Figura 5-1). Con la antena en polarización horizontal, tales reflexiones causan variaciones en la intensidad de la señal recibida.

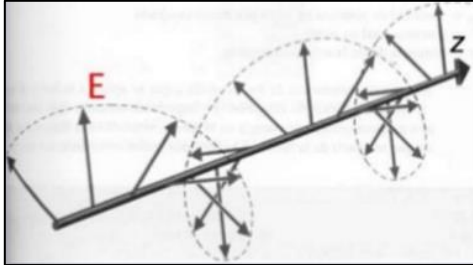
Las antenas horizontales tienen menos probabilidad de captar interferencias generadas por el hombre que las normalmente polarizadas verticalmente (Monachesi et al, 2001: 10).



**Figura 5-1:** Polarización vertical, polarización horizontal

**Fuente:** <http://es.slideshare.net/edisoncoimbra/63-propagacion-en-el-espacio-libre/8>

En la polarización circular como se muestra en la figura 6-1, el vector del campo eléctrico aparece rotando con un movimiento circular en la dirección de la propagación con la misma intensidad en todas las direcciones. Esta rotación puede ser hacia la derecha o hacia la izquierda.



**Figura 6-1:** Polarización circular

**Fuente:** <http://es.slideshare.net/edisoncoimbra/63-propagacion-en-el-espacio-libre/8>

#### **1.4.6. Ancho de Banda**

El ancho de banda es otro de los parámetros fundamentales de las antenas. Se define como el intervalo de frecuencias en la cual debe funcionar satisfactoriamente la antena, dentro de las normas técnicas vigentes a su aplicación (Ecuación 7-1). Puede ser descrito en términos de porcentaje respecto a la frecuencia central de la banda. (Monachesi et al 2011, 14).

$$\text{Ancho de Banda } [\%] = 100 \frac{f_H - f_L}{f_c}$$

**Ecuación 7-1:** Ancho de Banda

Donde  $f_H$  es la frecuencia más alta de la banda,  $f_L$  es la frecuencia más baja, y  $f_c$  es la frecuencia central. De esta forma, el ancho de banda porcentual es constante respecto a la frecuencia central. Las antenas son de diferentes tipos según la aplicación en la que se las utiliza, por esta razón no actúan de la misma manera y tienen variadas limitaciones de ancho de banda.

Dependiendo el ancho de banda que maneje las antenas, éstas se pueden clasificar en antenas de banda ancha (broad-band), o antenas de banda estrecha o angosta (narrow-band).

#### 1.4.7. Ganancia

La ganancia es un parámetro de las antenas similar a la directividad. La diferencia reside en que la directividad solamente toma en cuenta las propiedades direccionales de la antena y por lo tanto ésta depende únicamente del patrón de radiación. Por el contrario, la ganancia de una antena toma en cuenta tanto las propiedades direccionales de ésta como la eficiencia.

La definición de ganancia “es la razón de la intensidad de radiación en cualquier dirección a la radiación de la intensidad que será obtenida si la potencia aceptada por la antena fuera radiada de manera isotrópica” (Hernández 2015, 25). La ganancia de una antena se expresa como sigue (Ecuación 8-1):

$$G = 4\pi \frac{\text{intensidad de radiación}}{\text{potencia total de entrada (aceptada)}} = 4\pi \frac{U(\theta, \varphi)}{P_{in}}$$

**Ecuación 8-1:** Ganancia de una antena

#### 1.4.8. Eficiencia ( $e$ )

Es la relación entre la potencia irradiada por la antena y la potencia entregada a la antena. Se puede decir entonces, que la eficiencia es igual a la relación entre directividad y ganancia de la antena, en el cálculo de la eficiencia incurren algunos factores a tomarse en cuenta.

Pérdidas de potencia en una antena por determinados factores (Sánchez 2007: 25):

- Disipación en conductores
- Reflexión por mal acoplamiento
- Polarización inadecuada
- Área eléctrica menor a la física

En donde:

$$0 \leq e \leq 1$$

#### **1.4.9. Parámetro S**

Los parámetros S o de dispersión, son muy útiles para juzgar la operación de una antena, se utiliza para frecuencias altas, y permiten ubicar la frecuencia de resonancia del circuito, ya que se basan en los niveles de potencia que se perciben en las terminales de red de dos puertos, existen otros parámetros que trabajan en redes de dos puertos, tales como el parámetro Z, el parámetro Y o el parámetro T, los cuales solo trabajan con frecuencia bajas ya que con frecuencias altas pierden validez.

Los parámetros S son 4:

$S_{11}$ : Coeficiente de reflexión a la entrada, salida acoplada.

$S_{12}$ : Coeficiente de transmisión inversa, entrada acoplada.

$S_{21}$ : Coeficiente de transmisión, directo, salida acoplada.

$S_{22}$ : Coeficiente de reflexión a la salida, entrada acoplada (Hernández 1999, 52-53).

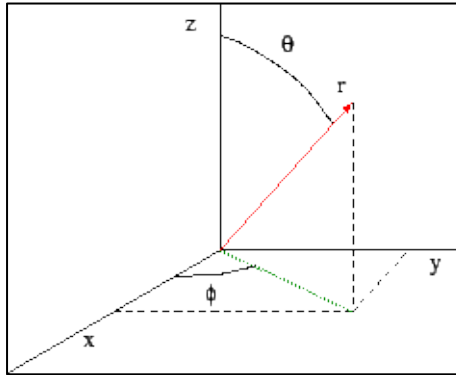
En el caso de las antenas microstrip generalmente se analiza el parámetro  $S_{11}$ , que básicamente permite obtener una referencia de las pérdidas que ocasiona el acoplador de dos elementos, sea líneas de transmisión o elementos radiantes.

#### **1.4.10. Diagrama de Radiación**

Según Cardama et al (2002, p.20) un diagrama de radiación de una antena es una representación gráfica de sus propiedades de radiación, en función de las distintas direcciones del espacio, a una distancia fija. Normalmente se empleará un sistema de coordenadas esféricas cuyas variables son  $r$ ,  $\phi$ ,  $\Theta$  (Figura 7-1).

Como el campo magnético se deriva directamente del eléctrico, la representación podría realizarse a partir de cualquiera de las dos.



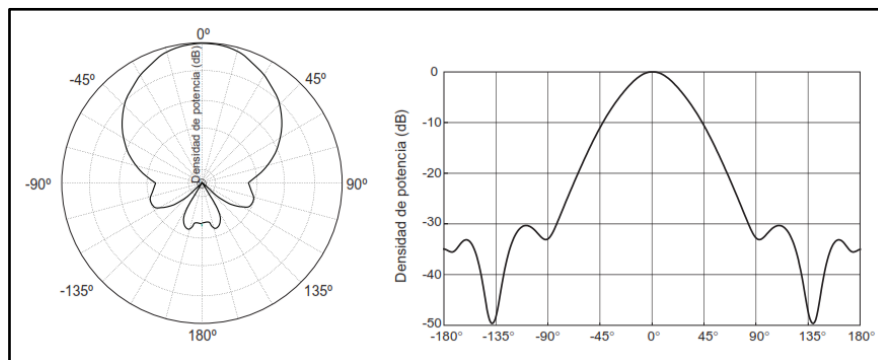


**Figura 7-1:** Sistema de coordenadas esférico

Fuente: [http://www.upv.es/antenas/Tema\\_1/diagramas\\_de\\_radiacion.htm](http://www.upv.es/antenas/Tema_1/diagramas_de_radiacion.htm)

El diagrama de radiación se puede obtener colocando una antena fija, o moviéndola respecto a sus ejes, donde las señales son captadas en el equipo receptor y se obtiene la frecuencia de trabajo y el nivel de potencia con la que llega.

Para poder observar los diferentes resultados, se realizan cortes en el diagrama de radiación que se pueden representar en forma polar o cartesiana (Figura 8-1).



**Figura 8-1:** Diagrama de radiación en coordenadas polares y cartesianas

Fuente: (Cardama et al, 2002, p.21)

#### 1.4.10.1. Antenas según su diagrama de radiación

Las antenas se pueden clasificar según la forma del su diagrama de radiación.

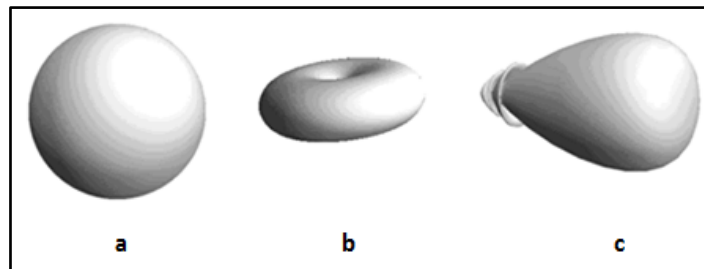
- **Isotrópicas:** Es una antena hipotética que no presenta pérdidas, su intensidad de radiación es la misma en todas las direcciones (Figura 1-5). Al no existir ninguna antena o elemento radiante que presente un diagrama isotrópico, se diseñan antenas cuasi-isotrópicas que se utilizan para aplicaciones TTC (seguimiento y telemando).

Aunque este tipo de antenas son hipotéticas, sirven de referencia en la evaluación de parámetros como la directividad, o pérdidas por propagación en el espacio libre. Como medida de ganancia en este tipo de antenas se empleará los dBi (decibelios sobre radiador isotrópico)

- **Omnidireccionales:** Son capaces de radiar en los 360 grados., a diferencia de las antenas isotropas los lóbulos de energía se presionan hacia adentro desde la parte superior e inferior como se puede ver la Figura 1-5, esto provoca que se pierda cobertura en la parte de abajo de la antena, son utilizadas en las estaciones base cuando se quiere cobertura en todas las direcciones, sin embargo, cuando se requiere una mayor ganancia se busca otro tipo de antenas más directiva.

Como ejemplo más claro tenemos la antena dipolo

- **Directivas:** Como su nombre lo dice, son un tipo de antenas que poseen una dirección específica de radiación con distancias más largas, sin embargo, a distancias más el ángulo de cobertura disminuye, por esta razón no se las utiliza en aplicaciones que no requieran gran cobertura, un ejemplo de antenas con estas características son las yagi, o bocina cónica, la figura 9-1 muestra el patrón de radiación típico de este tipo de antenas.



**Figura 9-1:** Diagrama de Irradiación, a) Isotrópico, b) Omnidireccional, c) Directivo

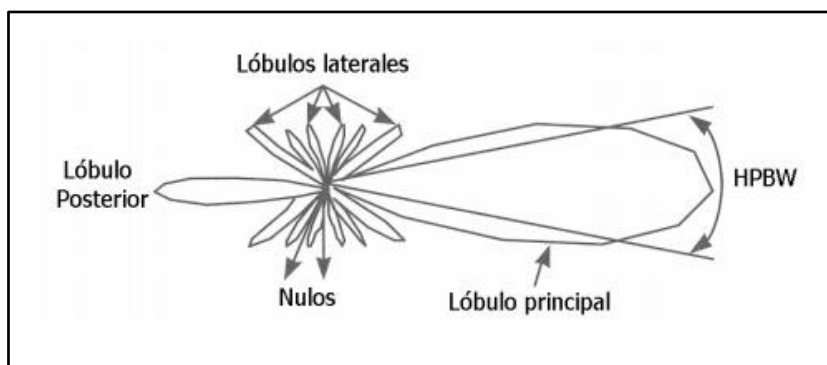
Fuente: <http://serviciosinalambricos.com/como-elegir-una-antena/>

#### 1.4.10.2. Parámetros del diagrama de radiación

En el patrón de radiación de cualquier antena se puede apreciar los llamados lóbulos de radiación, los cuales son regiones laterales que poseen relativamente baja intensidad de radiación. Los lóbulos de radiación de las antenas se pueden clasificar en dos tipos.

- **Lóbulos principales (*major lobe*):** Es el que contiene la dirección de máxima radiación.
- **Lóbulos secundarios (*minor lobe*):** Todos aquellos distintos al principal, su vez los lóbulos secundarios pueden subdividirse en lóbulos laterales (*side lobe*) y lóbulos posteriores (*back lobe*). En la figura 10-1 se muestra un patrón de radiación direccional (Hernández, 2015, pp.20-21).

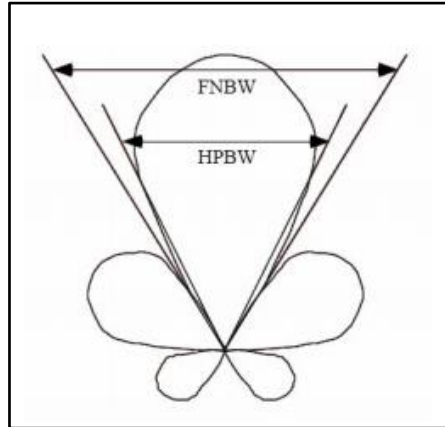
El área de cobertura o patrón de radiación de una antena se mide en grados y se los llama ancho de haz, no es lo mismo que la ganancia ya que esta se mide en dB (decibeles), mientras más grande sea la ganancia, más directiva será la antena, por ejemplo, con una ganancia de 0 dB se puede considerar que la antena es isotrópica en forma de una esfera perfecta y con la misma intensidad en todas las direcciones, esto es solo un ejemplo ya que como se lo ha dicho anteriormente no se puede construir una antena de estas características ya que siempre va a tener una ganancia más alta en cierta dirección.



**Figura 10-1:** Lóbulos de un patrón de radiación direccional

**Fuente:** [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/sanchez\\_i\\_d/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/sanchez_i_d/capitulo3.pdf)

El patrón de radiación de las antenas también se caracteriza por su ancho de haz el cual sirve cuando queremos comparar los patrones de radiación de diferentes antenas, el ancho de haz entre los primeros nulos (FNBW) es el tamaño angular del lóbulo principal, y el ancho de haz de media potencia (HPBW) es la medida angular en la cual se radia el 50 % de la potencia, esto es a (-3 dB) en el plano considerado. (Figura 11-1).



**Figura 11-1:** Ancho del Haz de un lóbulo de radiación  
**Fuente:** (Sánchez 2007, p. 23)

#### 1.4.10.3. Regiones de radiación: campo cercano, campo lejano

Al estudiar una antena, otro de los aspectos que se toma en cuenta es el comportamiento del campo radiado a distancias, pero resulta útil también conocer la distribución de radiación a distancias cercanas. Se han establecido criterios para discriminar zonas en el espacio que rodea a la antena. De acuerdo con Balanis (2002, 34-35) existen tres regiones de campo, en función de la distancia del origen de la antena, al punto del campo considerado.

- **Región Reactiva (Reactive Region):** Definida como “La región del campo que rodea inmediatamente a la antena y dentro de la cual predomina el campo reactivo”. Este criterio es establecido considerando que el limite exterior de este campo cumpla lo siguiente (Ecuación 9-1).

$$R < 0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$$

**Ecuación 9-1:** Criterio Región reactiva de una antena

Donde R es la distancia desde el centro de la antena hasta D que representa la máxima dimensión de la misma, medida en metros.

- **Región Radiante de Campo Cercano:** O también llamada de FRESNEL (Near Field Region), es la región de campo de una antena que comprende desde el límite de la región reactiva cercana y la región de campo lejano, dentro de esta región los campos radiantes predominan.

Si la antena es muy pequeña comparada con la longitud de onda, puede ser que ésta región de campo no exista. Esta región comprende el siguiente rango (Ecuación 10-1). (Brégains 2007: 37-39)

$$0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq R < \frac{2D^2}{\lambda}$$

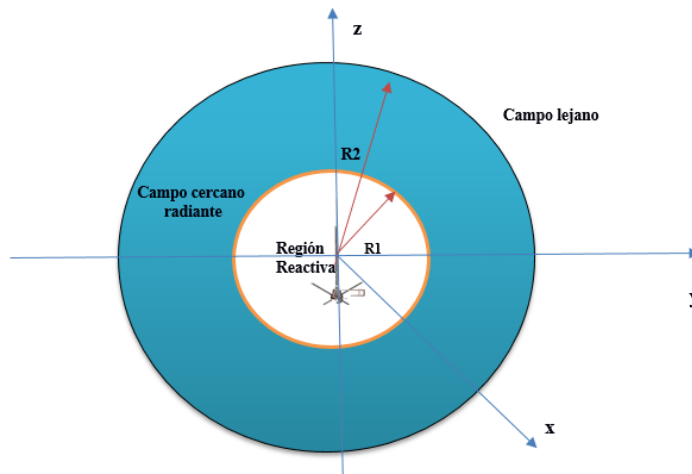
**Ecuación 10-1:** Criterio región radiante de campo cercano de una antena

- **Región de Campo Lejano (Far Field Region):** Se define como la región del extremo de una antena en donde la distribución de la antena es independiente de la distancia de la misma, esta región está dominada por los campos electromagnéticos. La región de campo lejano es definida como (Ecuación 11-1).

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda}$$

**Ecuación 11-1:** Criterio región de campo lejano de una antena

Para una mejor comprensión, lo antes dicho se puede representar por el siguiente diagrama (Figura 12-1)



**Figura 12-1:** Regiones de campo de una antena  
Realizado por: Erika Zurita, 2017

$$R1 = 0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \text{ y } R2 = \frac{2D^2}{\lambda}$$

## 1.5. Antenas Microstrip

### 1.5.1. Principios Básicos

Dentro de los tipos de antenas que se han desarrollado en el campo de las telecomunicaciones tenemos a las antenas planas, de las cuales las más conocidas o utilizadas son las antenas Microstrip o antenas de microlínea. Este tipo de antenas, como todo elemento ha tenido que ser estudiado y revisado hasta llegar a convencer a la comunidad afín a este tipo de tecnología (Arguello, Arias 2009, 1).

Las antenas microstrip están basadas en la tecnología de circuito impreso con técnicas de fotograbado que crea estructuras sobre un dieléctrico, esto hace que las antenas puedan ser más compactas y sirvan

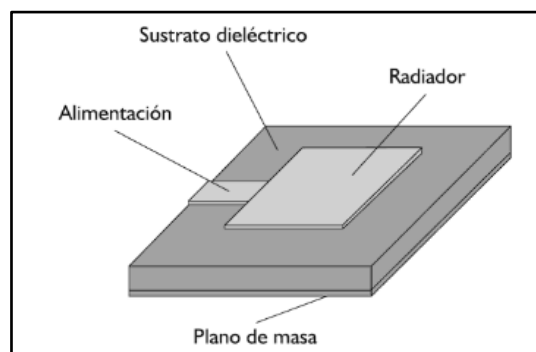
para diferentes aplicaciones como la aviación, dispositivos móviles etc. Su tamaño reducido es muy ventajoso sin embargo esto tiene como costo no poder manejar mucha potencia como en el caso de otras antenas, además están hechas para rangos de frecuencia cortos.

Consisten, básicamente, en un conjunto formado por una superficie metálica radiante frente a otra que actúa como plano de tierra y separadas por un espacio dieléctrico de espesor muy pequeño como se muestra en la Figura 13-1. El parche ubicado sobre el dieléctrico puede tomar cualquier geometría que dependerá de las características que se quieran obtener de la antena.

El sustrato dieléctrico es la base del circuito microstrip, constituye un soporte estable para las tiras conductoras y los parches que conforman las conexiones, los resonadores y las antenas. El sustrato también tiene la función de concentrar el campo electromagnético y prevenir en el circuito radiaciones no deseadas. la permitividad dieléctrica y grosor del sustrato determinan las características del circuito o la antena. (Roldán, p.13)

La elección del material dieléctrico también es importante ya que éste logra que la mayor parte de la energía se encuentre confinada, el dieléctrico puede ser de naturaleza flexible por esta razón es tan fácilmente adaptable.

Estas antenas pueden ser hechas para emular cualquiera de los diferentes tipos de antenas antes mencionados, se las suele utilizar como elementos primarios de antenas tipo array, se clasifica a las antenas microstrip según su forma, las más habituales son las rectangulares y circulares, pero como se dijo anteriormente pueden tomar diferentes geometrías.



**Figura 13-1:** Estructura de una antena tipo patch  
**Fuente:** (Yunes 2009, p. 13)

Desde que empezó el desarrollo de antenas microstrip se han hecho avances en lo que se refiere a los tipos de materiales empleados para su construcción, en el tipo de análisis ya que se ha logrado que el diseño se aproxime a la realidad de su forma diseñada, y la forma de fabricación (Arguello y Arias 2009, p.2).

El parche rectangular es el elemento más utilizado para la implementación, para el cual existe una manera efectiva de calcular sus dimensiones, tomando en cuenta que siempre va a ver un factor que afecte y varíe las mismas. (Arguello et al 2009, pp. 75-76)

El ancho del parche viene dado por:

$$We = \frac{c}{2f} \sqrt{\frac{2}{Er + 1}}$$

**Ecuación 12-1:** Ancho del parche

**Donde:**

**c:** es la velocidad de la luz en el espacio

**f:** frecuencia de resonancia

**Er:** constante dieléctrica del sustrato

La longitud del parche se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Le = \frac{c}{2f\sqrt{Eeff}}$$

**Ecuación 13-1:** Longitud del parche

**Donde:**

**Eeff:** Constante dieléctrica efectiva del sustrato y se obtiene mediante la siguiente ecuación:



$$E_{eff} = \frac{Er + 1}{2} + \frac{Er - 1}{2\sqrt{1 + 12 * \frac{h}{W}}}$$

**Ecuación 14-1:** Constante dieléctrica efectiva

**Donde:**

**h:** Es el grosor del sustrato

**W:** Es el ancho del parche

**Er:** es la constante dieléctrica del material

### **1.5.2. Características de las antenas microstrip**

Como todo dispositivo las antenas microstrip, debido a los materiales que la conforman o al tipo de tecnología implementada para su fabricación, le otorgan ciertas características que le dan ventajas para ciertas aplicaciones ya que por ejemplo su rango de frecuencia podría variar desde los 300 MHz hasta los 50 GHz lo que le da una amplia capacidad de uso, sin embargo, también muestran sus inconvenientes.

En la actualidad las antenas microstrip se las utiliza en múltiples aplicaciones como sistemas GPS, telefonía móvil (tanto terrestre como a través de satélite) en medicina, en aviación y allá donde se requiera una antena de bajo perfil y poco volumen (García :121).

#### **1.5.2.1. Ventajas**

Entre las ventajas de las antenas microstrip en comparación con las antenas convencionales, se pueden nombrar las siguientes.

- Pequeño tamaño y poco peso, lo que ayuda a que puedan ser ubicadas en lugares pequeños, por ejemplo, se las utiliza en controles remotos, dispositivos electrónicos pequeños, celulares.
- Ajustable a superficies no planas, esto a echo que se las utilice en aviones, misiles, etc., ya que son generalmente planas, no cambia las características aerodinámicas del medio a la que se encuentra sujeta.
- Fabricación sencilla y económica ya que al usar la tecnología impresa de circuitos a nivel industrial reduciría los costos de producción, por lo que aumentaría las ganancias.
- Dado que el parche de la antena puede tomar muchas formas, circular, triangular, cuadrada, etc., da lugar a una diversidad de polarización.
- Robustez mecánica (montada en superficies rígidas)
- Sencillez de realización de arrays, lo que ayuda a mejorar sus características y atenuar sus deficiencias.
- Fácil integración en equipos y circuitos debido a la tecnología de impresión que utiliza, esto ayuda a integrarlas en filtros, conversores, circuitos de decisión, etc.
- Adecuado para diseño CAD.

#### 1.5.2.2. Desventajas

- Estructura resonante con pequeño ancho de banda, lo que limita su uso en varios tipos de aplicaciones que requieren transmisión en banda ancha. Sin embargo, al realizar configuraciones de tipo array se logra una mejora importante en el ancho de banda.

- Pérdidas en el sustrato (precisa sustratos de con poca permitividad)
- Posee una ganancia baja dependiendo de la configuración.
- Poca pureza de polarización
- Limitación de manejo de energía, debido a las pérdidas que produce el sustrato. Y, además, a diferencia de las antenas de guía onda, las antenas microstrip no se encuentran cerradas lo que las hace más susceptibles al ruido, relativamente (Arguello et al 2009:6).

#### 1.5.2.3. Aplicaciones

Las antenas microstrip son muy utilizadas aplicaciones cotidianas como, por ejemplo, en dispositivos inalámbricos de comunicaciones de datos, Wi-Fi, bluetooth, teléfonos celulares, posicionamientos GPS, aplicaciones militares y comunicaciones vía satélite. Para ello, la tecnología microstrip se presenta como una solución atractiva dado su bajo perfil, coste, y sencillez de fabricación (Amar, Aja, Tazón, Artal, Boussouis 2008, p. 1).

En cuanto a aplicaciones comerciales, debido a las ventajas ya mencionadas, la penetración de las antenas microstrip en el mercado es impresionante, especialmente los arreglos de antenas, por ejemplo, se está implementando antenas microstrip en satélites pertenecientes al programa Iridium de Motorola para comunicaciones móviles satelitales.

#### ***1.5.3. Tipos de antenas microstrip***

Una de las principales ventajas de las antenas microstrip es su gran variedad de formas y tipos de antenas, que se dividen principalmente en dos grupos: Las antenas microstrip planares y antenas microstrip no planares, este trabajo se va a enfocar en tres grupos importantes:

- **Antenas Patch:** Es una forma básica de las antenas microstrip, en donde un parche metálico normalmente de oro o cobre de cualquier forma geométrica, sea regular o irregular, se coloca sobre un sustrato dieléctrico que representa el plano de tierra. Los tipos de patch más utilizados son los rectangulares y los circulares.
- **Antenas de onda viajera:** Estas antenas se caracterizan por un parche continuo distribuido sobre el sustrato de manera periódica, haciendo que soporte el modo transversal eléctrico, TE. Lo que hace que estas antenas sean llamadas de onda viajera, es porque a un extremo del conductor metálico es acoplada una carga resistiva que tiene por objeto, eliminar la onda estacionaria.

Este tipo de antenas son diseñadas para que el haz principal se sitúe en cualquier dirección desde el costado hasta el extremo distante. (Arguello et al 2009, p. 80)

- **Antenas de ranura o tipo slot:** Se caracterizan por tener una ranura en el plano de tierra, haciendo sobresalir el sustrato en dicha ranura, estas ranuras pueden tomar la forma de cualquier tipo de los parches que se observó anteriormente para las antenas tipo patch, y son alimentadas de igual forma, ya sea por línea de transmisión o por guía de onda.

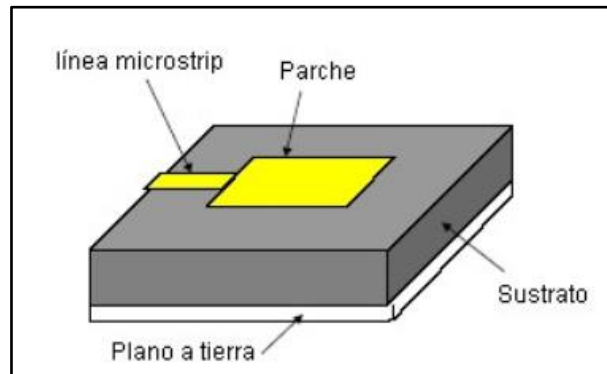
#### 1.5.3.1. Tipos de Alimentación

Para que el parche radie, obviamente debemos tener algún tipo de alimentación, mediante el dispositivo adecuado, el buen funcionamiento de las antenas también tiene mucho que ver con el tipo de alimentación que se escoja ya que cada una brinda diferentes características.

Existen varios métodos que permiten alimentar una antena microstrip:

- **Alimentación por línea microstrip:** Esta técnica consiste en conectar directamente el parche de la antena con una línea microstrip, la cual puede ser fabricada con el mismo material que el parche, y unificara la estructura (Imagen 14-1). Se suele dejar un pequeño espacio entre la línea y el parche, el cual hará de adaptador de impedancia.

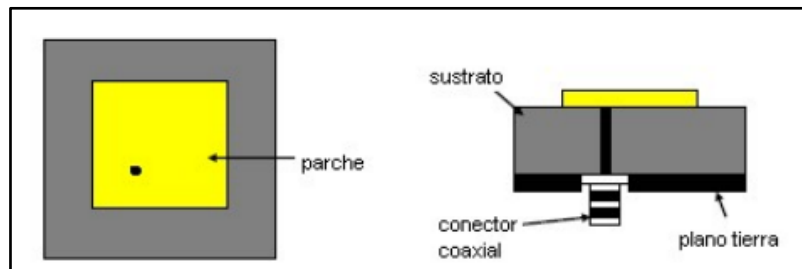
El método tiene la desventaja de que, si se usa un dieléctrico delgado, aumenta fuertemente la cantidad de onda superficial y la polarización de alimentación. Además, su ancho de banda es bajo 2-5%. (Vielma 2004, p. 22)



**Figura 14-1:** Alimentación por línea microstrip

Fuente: [http://www.astronomos.cl/conocimientos/avanzado/antenas\\_pr%Elctica.pdf](http://www.astronomos.cl/conocimientos/avanzado/antenas_pr%Elctica.pdf)

- **Alimentación coaxial:** En esta técnica, la punta del conector coaxial se extiende a través del dieléctrico y es soldada al parche, mientras que el conductor exterior del coaxial es conectado al plano de tierra, como lo muestra la imagen 15-1.



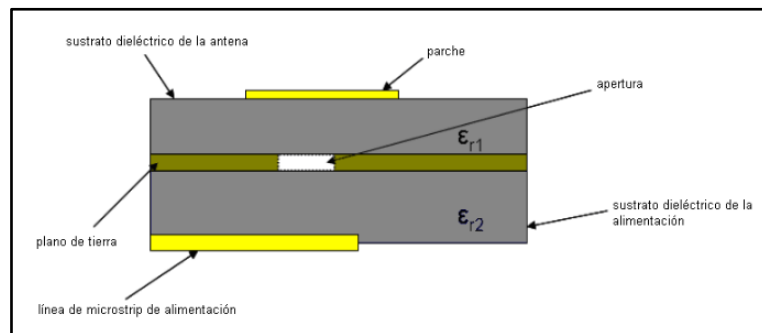
**Figura 15-1:** Alimentación por conexión coaxial

Fuente: [http://www.astronomos.cl/conocimientos/avanzado/antenas\\_pr%Elctica.pdf](http://www.astronomos.cl/conocimientos/avanzado/antenas_pr%Elctica.pdf)

Se puede colocar la punta del coaxial en cualquier parte del parche dependiendo del diseño. Presenta menos perturbaciones por radiación no deseada en comparación con la alimentación por línea de transmisión, sin embargo, también posee un bajo ancho de banda. Este tipo de alimentación coaxial es la más utilizada comúnmente en aplicaciones microstrip.

- **Alimentación por acoplamiento de apertura:** En este tipo de alimentación, el parche y la línea microstrip son separados por un plano de tierra, como lo muestra la figura 16-1.

El acoplamiento entre ambos es hecho a través de una apertura o ranura en el plano a tierra que los separa, la apertura es generalmente centrada bajo el parche. Ña mayor dificultad de esta técnica es su construcción ya que consta de capas.

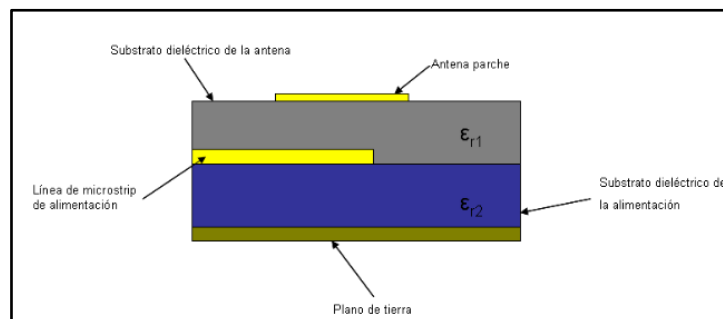


**Figura 16-1:** Alimentación por apertura del plano a tierra

Fuente: (Vaca et al, 2011, p .80)

- **Alimentación por acoplamiento de proximidad:** En esta técnica se tiene una línea de alimentación entre dos dieléctricos (Figura 17-1). Esta línea se acopla con el parche para que cause radiación.

La ventaja de esta técnica es que elimina radiaciones no deseadas y ayuda al incremento del ancho de banda. La desventaja es que por ser multicapa aumenta el grosor de la antena.



**Figura 17-1:** Acoplamiento por proximidad

Fuente: (Hernández 2016, 48)

### 1.5.3.2. Tipos de ondas en las líneas de microstrip

Existen cuatro tipos de ondas en una línea de microstrip.

- **Ondas espaciales:** Son ondas que son enviadas al espacio libre, pierden magnitud y se atenúan conforme aumenta la distancia.
- **Ondas superficiales:** Se presentan en dirección descendente, están confinadas prácticamente dentro del dieléctrico y no son uniformes.
- **Ondas de fuga:** Se parecen a las ondas superficiales, inicialmente son reflejadas en el plano de tierra, viajan en el dieléctrico en dirección de la tira conductora.
- **Ondas guía:** Se presentan en circuitos impresos que son utilizados para guías de onda o líneas de transmisión y son aquellas que se pueden encontrar cuando la parte posterior del sustrato dieléctrico está metalizado casi en su totalidad.

### 1.5.4. Ancho de banda

Como se dijo anteriormente la limitación en el ancho de banda en antenas microstrip es una de sus principales desventajas con respecto a otras antenas, y este inconveniente es precisamente lo que se va a tratar de mejorar en el presente trabajo mediante el diseño de una antena que trabaje en la frecuencia de 2.4 GHz.

Debido a que la tecnología microstrip se ha consolidado como una alternativa viable como elemento de telecomunicaciones, siempre va a existir la intención de mejora por parte de muchos autores relacionados a este tema, en especial a lo que tiene que ver con el ancho de banda, debido a que es la principal falencia en antenas microstrip, existen innumerables publicaciones científicas que tratan

sobre este tema en específico, para este trabajo se utiliza el algoritmo SLOT-LOADED, que ha mostrado buenos resultados al aumentar el ancho de banda.

El algoritmo SLOT-LOADED es un mecanismo de diseño de antenas microstrip que parte de un diseño básico, el mismo que según la frecuencia a la que se quiera trabajar podrá ser optimizado.

De acuerdo a los autores (Di Massa, Antonio Costanzo, Sandra Costanzo 2016, p. 226), las dimensiones de la estructura de la antena pueden reducirse introduciendo una pared metálica entre el parche y el plano de tierra, pero ésta técnica tiene el inconveniente de reducir tanto el ancho de banda como la ganancia de la antena. En su diseño, partieron de una ranura en forma de U en la superficie del parche para aumentar la longitud eléctrica total.

Se optó por utilizar un sustrato con baja permitividad dieléctrica (espuma), entre el parche y el plano de tierra, y mediante el aumento del espesor del mismo, y en combinación con el diseño del parche, se podrá aumentar el ancho de banda de la antena. Se debe tomar en cuenta que mientras mayor sea la constante dieléctrica del sustrato que se utilice, menor será el ancho de banda y disminuye el factor de calidad.

Los materiales recomendados para el diseño inicial del algoritmo SLOT-LOADED también proporcionan ciertas características que ayudan a la mejora de los parámetros de la antena, sin embargo, en el presente trabajo se utiliza materiales accesibles en el mercado, por lo que se podrá realizar una interpretación de cómo afecta la elección de materiales en el diseño de antenas microstrip.



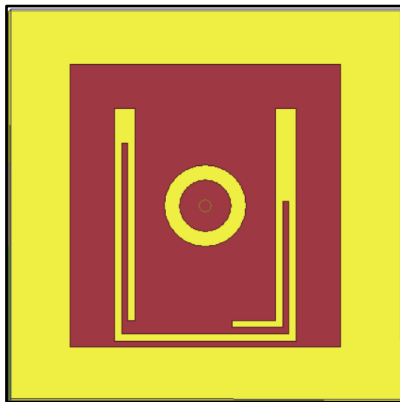
## CAPITULO II

### 2. DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA ANTENA MICROSTRIP DE BANDA ANCHA PARA LA FRECUENCIA DE 2.4 GHz MEDIANTE EL ALGORITMO SLOT LOADED

#### 2.1. Principios de diseño mediante el algoritmo slot-loaded

##### 2.1.1. *Diseño del patch*

Para el diseño del parche de la antena se utilizó el algoritmo slot-loaded, el mismo que consta de etapas que ayudan a que el diseño se lo realice de una manera más simple ya que no es un modelo numérico. El modelo básico del algoritmo slot-loaded se muestra en la Figura 1-2.



**Figura 1-2:** Diseño original del algoritmo slot-loaded

**Fuente:** Di Massa et al 2012: 226

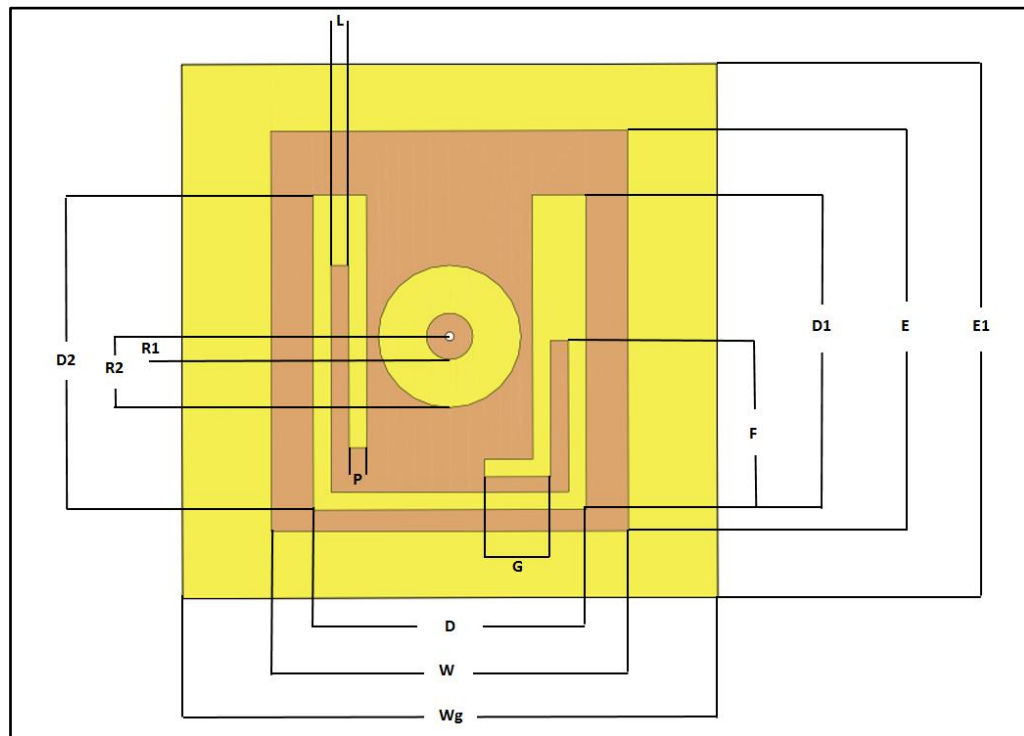
**Realizado por:** Elaboración propia

A continuación, se muestran las etapas que se siguió para el diseño de la antena para la frecuencia de 2.4 GHz.

- En primer lugar, se diseña el parche rectangular (Figura 2-2), el cual trabajará a la frecuencia deseada. Los parámetros del algoritmo aconsejan trabajar con  $W \approx \lambda/3$ , y  $E \geq W$ , E no debe

tener gran diferencia con respecto a  $W$ . Los valores de  $D$ ,  $D_1$ , y  $G$  serán ajustados dependiendo de los resultados que vaya arrojando la simulación. Se aconseja tomar en cuenta el valor de  $D = \lambda/6$ .

- Como segundo paso se procede a estructurar el diseño de la ranura en forma de U, evitando cambiar los valores de  $W$ , y  $E$ . Se inserta el anillo circular alrededor del punto de alimentación teniendo en cuenta que la diferencia entre  $R_1$  y  $R_2$  provocará cambios tanto en parámetros de impedancia, como en la frecuencia central.
- Al aumentar  $R_1$  y  $R_2$  el mismo valor, causa la disminución en la frecuencia, y si por el contrario estos valores disminuyen, la resonancia se desplaza a frecuencias más altas, una correcta manipulación de estos dos valores garantiza correctos resultados.
- El área de plano de tierra tiene que ver con la pérdida de retorno que se produzca.



**Figura 2-2:** Configuración de la antena  
Realizado por: Elaboración propia.

Se debe tener en cuenta que, si bien el algoritmo muestra los aspectos del diseño y los resultados que podrían arrojar, esto va cambiando según la frecuencia a la que trabaje la antena y los materiales que se utilicen para la implementación.

Mediante las etapas del algoritmo, y el cálculo de la longitud de onda, se procede al diseño geométrico del parche.

- Para la frecuencia de 2.4 GHz se ha determinado el siguiente valor de W.

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{2.4 \times 10^9} = 0.125 \text{ m} \quad \rightarrow \quad W \approx \frac{\lambda}{3} \quad \rightarrow \quad W \approx 41.67 \text{ mm}$$

Mediante las etapas del algoritmo no se obtiene un valor aproximado del ancho del parche (W) por esta razón se ha utilizado fórmulas para poder establecer este valor.

Mediante las ecuaciones 12-1, 13-1, 14-1 se obtuvo las siguientes medidas referenciales (Tabla 1-2) para las dimensiones del parche, que nos servirán para obtener una mayor aproximación a los resultados requeridos.

**Tabla 1-2:** Medidas referenciales del parche

Parámetro	Medida [mm] Mediante fórmula	Medida [mm] Criterio del algoritmo
W	38	41.67
E	40.85	-

**Fuente:** Elaboración propia

Las dimensiones obtenidas mediante fórmulas son semejantes y cumplen con el criterio del algoritmo que dice que la dimensión de E debe ser mayor o igual a W.

La ranura en forma de U que será incorporada al parche va hacer que estos valores referenciales varíen un poco, pero en sí, las dimensiones del parche no deben variar significativamente. Se trabajará mayormente en la optimización de las medidas de la ranura en forma de U

Después de obtener el diseño preliminar, se procede a la simulación mediante la cual, las medidas serán ajustadas según los resultados que se vayan obteniendo, hasta llegar a la frecuencia deseada, y será indispensable observar en los resultados el ancho de banda que se va generando, ya que este resultado es de interés para este trabajo.

### 2.1.2. *Diseño de la antena*

Entre los antecedentes del algoritmo slot-loaded, no solo el diseño del parche tiene que ver con la mejora del ancho de banda, si no que la estructura de la antena en sí ayuda a la obtención de mejores resultados, por esta razón la antena va a estar estructurada de la siguiente forma (Figura 3-2).



**Figura 3-2: Vista lateral de la antena**

**Fuente:** Elaboración propia

Se utilizará esponja que posee una permitividad dieléctrica baja lo cual permitirá que disminuya el campo eléctrico interior y por lo tanto la diferencia de potencial, y en conjunto con los anillos permitirá el aumento del ancho de banda.

Se ha elegido trabajar con el sustrato FR4 epoxi (fibra de vidrio) ya que al tener una permitividad menor a 5 se puede conseguir mejores valores de eficiencia de radiación y ancho de banda.

En la tabla 2-2 se muestra las características de cada material. existen muchos materiales con buenas características, y baja permitividad lo que ayuda al desempeño de la antena, para este trabajo se ha utilizado materiales que se pueden obtener fácilmente, a continuación, se verá las especificaciones.

**Tabla 2-2:** Especificaciones de los materiales

	<b>FR4 EPOXY</b>	<b>ESPONJA</b>
<b>Permitividad relativa</b>	4.4	1.07
<b>Espesor del sustrato</b>	1.6 mm	Varía de acuerdo a resultados

**Fuente:** Elaboración propia

## 2.2. Simulación

La simulación está realizada en el programa ANSOFT HFSS versión estudiante, es un programa diseñado para modelar y simular estructuras 3D para altas frecuencias, este programa permite visualizar el comportamiento de las ondas electromagnéticas. Tiene muchos parámetros propios de las antenas que nos van a ir mostrando resultados de su funcionamiento, así como también el beneficio de elegir entre un sin número de materiales con diferentes características que nos ayudaran para nuestro diseño.

En la figura 4-2 se menciona los pasos generales que se ha seguido para el diseño de la antena.



**Figura 4-2:** Proceso de Simulación en HFSS

**Fuente:** Carriles 2014: 16

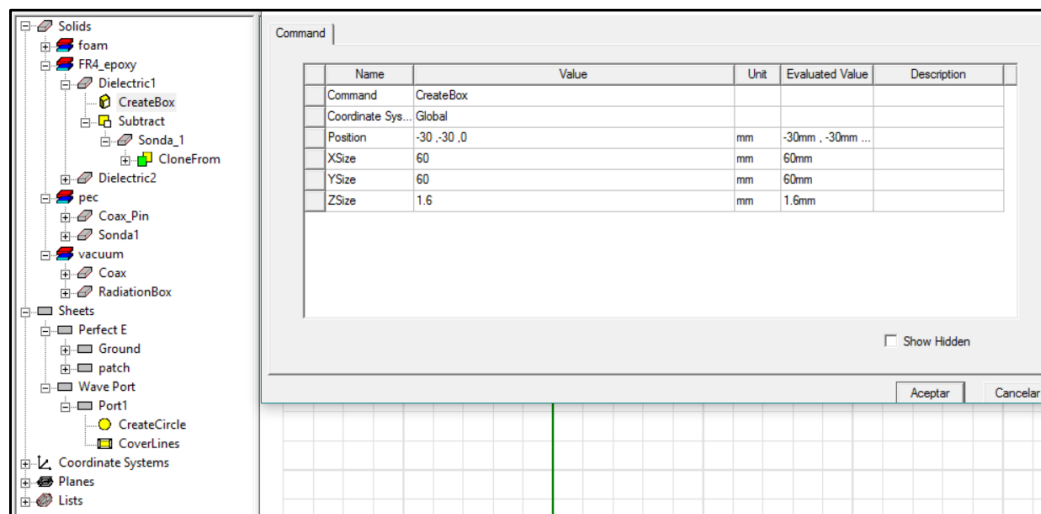
**Realizado por:** Elaboración propia

Habiendo establecido los criterios del algoritmo SLOT-LOADED, se procede a la simulación y optimización de la antena microstrip en la banda de 2.4 GHz, que es referida al estándar WiFi.

### 2.2.1. Estructuras y Materiales

Para poder empezar el diseño, se elige los materiales con los que vamos a trabajar, los mismos que van a ser utilizados al momento de la implementación. Se debe ingresar el valor del espesor real de cada material, ya que siempre el diseño debe estar enfocado a la implementación.

Una vez elegidos los materiales, se estructura capa por capa la antena, y se ira formando al costado de la hoja de diseño la lista de materiales que estamos utilizando con sus características como el espesor y la posición en la que se encuentra la antena en el plano x, y, z, (Figura 5-2).

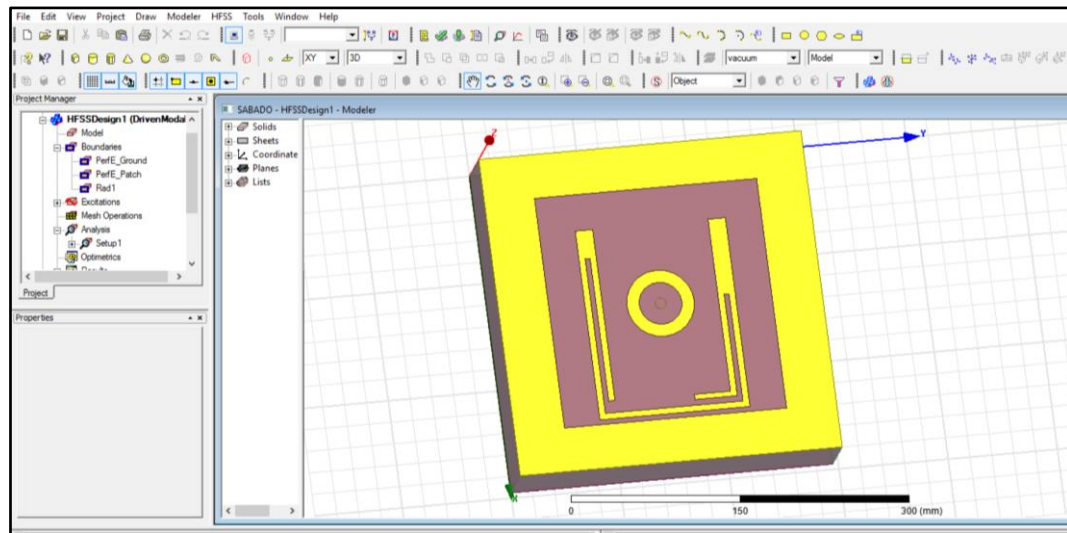


**Figura 5-2:** Esquema de la lista de materiales en ANSOFT HFSS

**Realizado por:** Elaboración propia

El diseño del parche, como ya se lo ha dicho, parte del algoritmo slot-loaded, en el cual se va a realizar el respectivo proceso de optimización hasta llegar al diseño definitivo que cumpla con los parámetros requeridos y así poder definir las dimensiones de la antena, y la posición del puerto de alimentación.

El primer diseño (Figura 6-2) que se realiza puede ser llamado de prueba, ya que no se obtendrán resultados óptimos iniciales, se tendrá que ajustar poco a poco las dimensiones tanto de ancho como de longitud hasta obtener los resultados deseados.



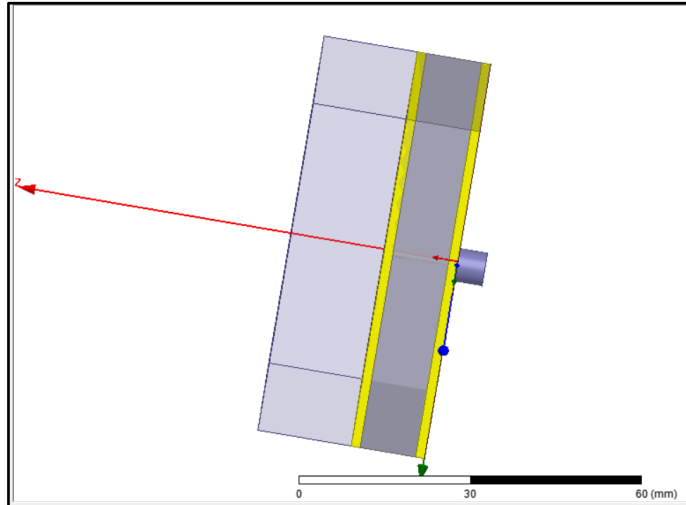
**Figura 6-2:** Primer diseño del parche  
Realizado por: Elaboración propia

### ***2.2.2. Alimentación y condiciones de contorno***

Para poder controlar la impedancia del parche, se diseña un punto de alimentación que va a simular el conector que alimenta a la antena, con esto se espera lograr que los resultados obtenidos en la simulación se asemejen lo más posible a los resultados de la antena ya implementada.

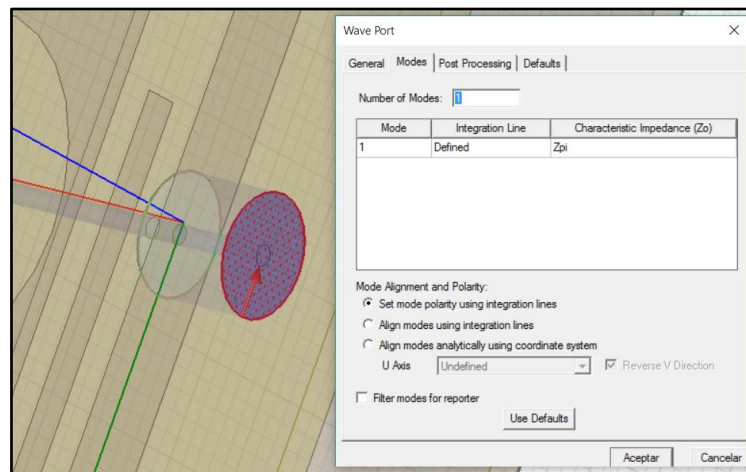
El tipo de alimentación que se ha escogido es la coaxial, ya que se puede manipular fácilmente el lugar por donde se va a introducir la alimentación, en este caso va a ser exactamente en el centro de los anillos. Es el método de alimentación más utilizado en antenas microstrip.

El pin de la alimentación deberá perforar los sustratos y el dieléctrico (esponja), y soldarse directamente con el parche. El principal inconveniente de este tipo de alimentación es el bajo ancho de banda que provee, pero esto se compensa en parte, con la configuración de la antena. En la imagen (Figura 7-2) se observa la antena alimentada coaxialmente.



**Figura 7-2:** Vista lateral de la antena con alimentación coaxial  
Realizado por: Elaboración propia

Es importante definir el puerto por el que se excitará la antena, se selecciona el puerto y se define como “wave port” (Figura 8-2) que tendrá una impedancia de 50 ohmios, el puerto tiene como objetivo simular el flujo de energía entrante o saliente, lo cual nos ayudará a obtener el parámetro S y otros parámetros importantes.

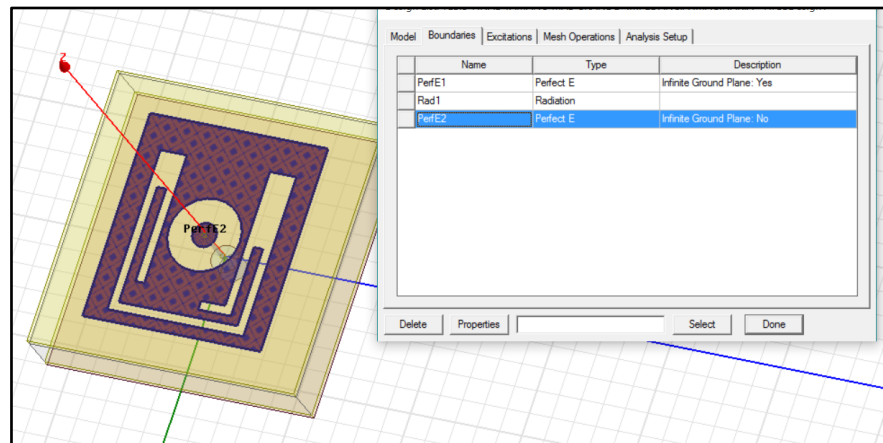


**Figura 8-2:** Puerto excitado de la antena  
Realizado por: Elaboración propia

Se incorporará las condiciones de contorno, las cuales definen que parte de la antena será conductor eléctrico perfecto, conductor magnético perfecto, impedancia, elemento de radiación etc. Para la

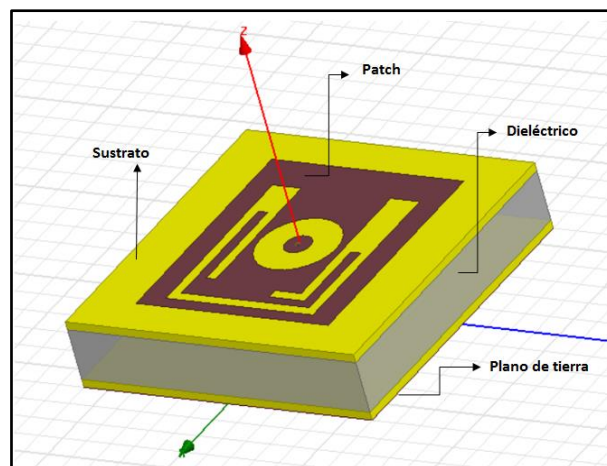


antena se ha definido conductores eléctricos finitos, y una superficie de radiación (Figura 9-2) que ayuda a que las ondas radien fuera de la estructura.



**Figura 9-2:** Condiciones de contorno de la antena  
Realizado por: Elaboración propia

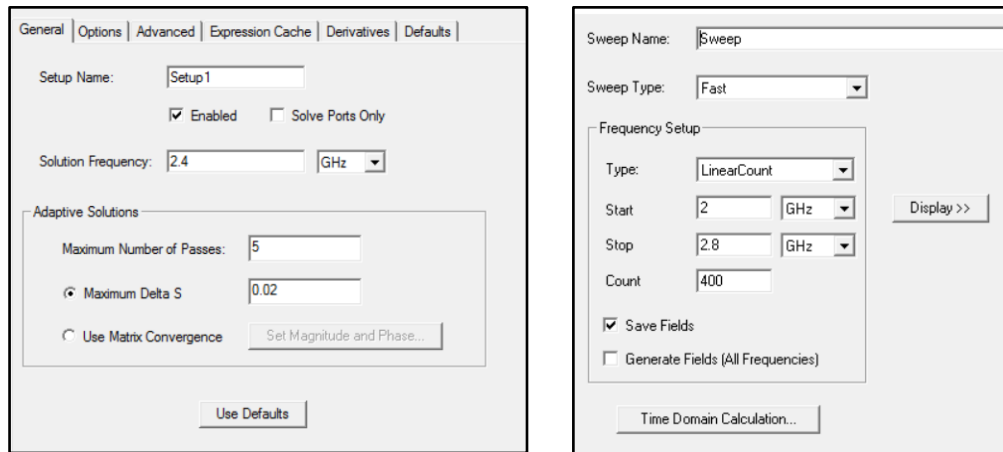
No se puede olvidar que la antena debe ser referenciada a un plano de retorno a tierra, el mismo que está colocado debajo del sustrato con medidas iguales al mismo, se le asigna un campo eléctrico para que genere la radiación y conduzca la corriente. Además, tiene diseñada una caja de aire llamada RadiationBox, que sirve para crear el patrón de radiación en el campo lejano y obtener resultados válidos. (Figura 10-2)



**Figura 10-2:** Estructura general de la antena  
Realizado por: Elaboración propia

### 2.2.3. Rango de frecuencias

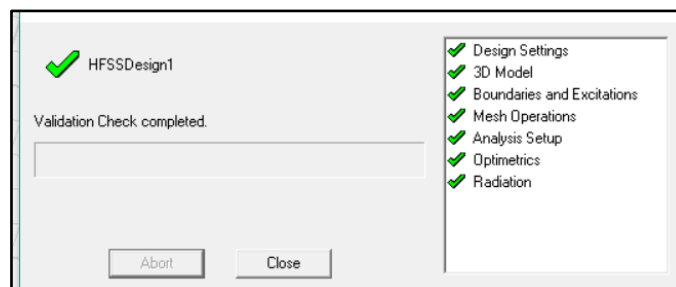
Se procede a definir la frecuencia central, y el rango de frecuencias que se desea observar en el análisis. Se tomará en cuenta el análisis desde 2 GHz hasta 3 GHz con la frecuencia central de 2.4 GHz, y por ultimo ingresamos el número de puntos que se van a graficar, mientras más puntos se utilice, se podrá visualizar mejor la gráfica (Figura 11-2).



**Figura 11-2:** Asignación de frecuencias  
Realizado por: Elaboración propia

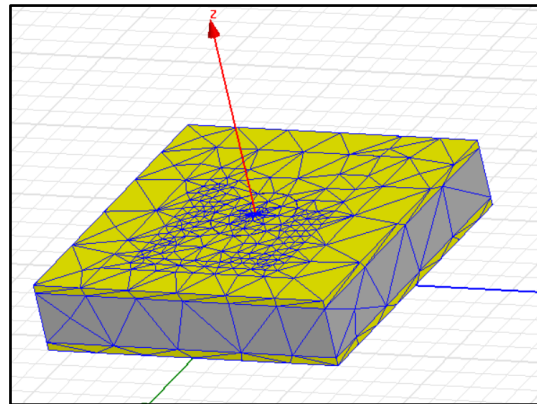
### 2.2.4. Validación de la Simulación

Una vez definidos todos los parámetros antes mencionados, comprobamos la validación de la simulación, lo cual nos permitirá empezar a optimizar las dimensiones de la antena sin que el programa arroje errores. (Figura 12-2).



**Figura 12-2:** Validación de la simulación  
Realizado por: Elaboración propia

Un aspecto importante que se debe conocer es que ANSOFT HFSS utiliza el método de los elementos finitos para dividir la antenna en un gran número de regiones (mallado), lo que conllevará a una solución más exacta, pero llevará más tiempo de cálculo. (Figura 13-2)



**Figura 13-2:** Malla de aproximación  
Realizado por: Elaboración propia

#### 2.2.5. Estructura definitiva de la antenna

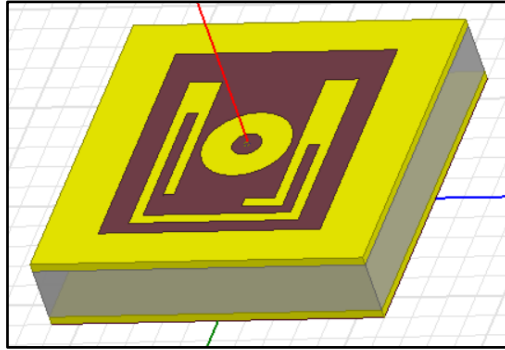
Se ha realizado la optimización de la geometría de la antenna hasta lograr obtener resultados óptimos, se debe tener en cuenta que las modificaciones en las medidas no deben cambiar significativamente la estructura del parche. Las dimensiones finales de la antenna se muestran en la tabla 3-2.

**Tabla 3-2:** Dimensiones de la antenna microstrip para la frecuencia de 2.4 GHz

Parámetros	Medida [mm]	Parámetros	Medida [mm]
<b>D</b>	30.6	<b>G</b>	7.4
<b>W</b>	40	<b>P</b>	2
<b>Wg</b>	60	<b>R1</b>	2.6
<b>F</b>	19	<b>R2</b>	8
<b>D1, D2</b>	35.4	<b>L</b>	2
<b>E</b>	45	<b>E1</b>	60

Realizado por: Elaboración propia

Con éstas dimensiones se pudo conseguir que la antena trabaje a 2.4 GHz, respetando el diseño del algoritmo slot-loaded (Figura 2-14), y obteniendo buenos resultados que serán analizados a continuación.



**Figura 14-2:** Diseño final de la antena microstrip  
Realizado por: Erika Zurita, 2017

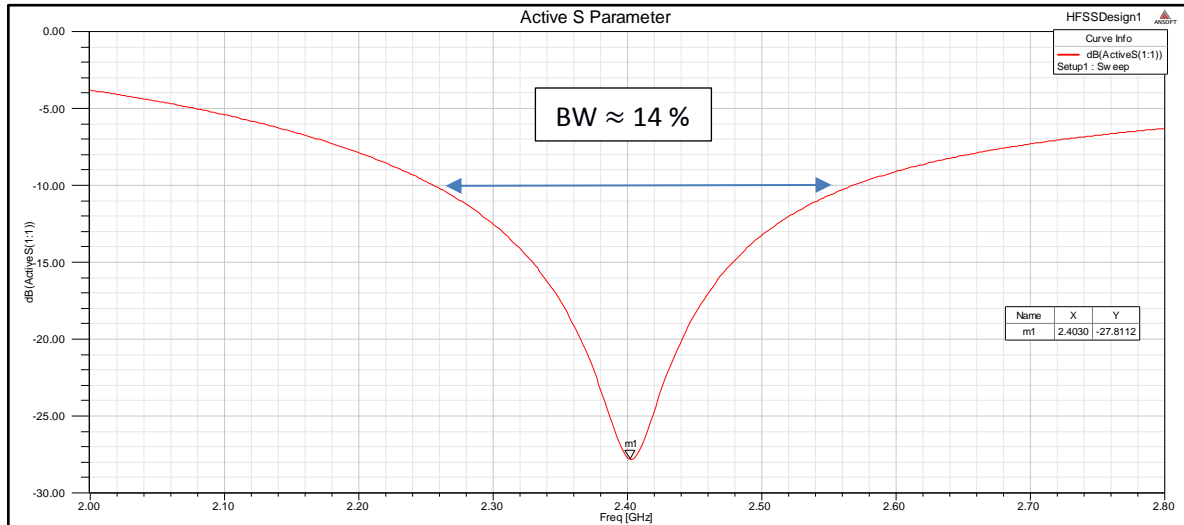
#### **2.2.6. Determinación de resultados simulados**

Una vez que se ha terminado con la simulación, consiguiendo los resultados que esperábamos mediante optimización de medidas, solo resta presentar los parámetros más importantes que nos va a mostrar cómo está actuando la antena en la frecuencia central de 2.4 GHz.

##### **2.2.6.1. Parámetro S**

El parámetro  $S_{11}$  nos muestra que la antena está resonando a la frecuencia de 2.4 GHz aproximadamente, mediante el coeficiente de reflexión con valores inferiores a -10 dB podemos ver que se aprovecha un 99.8 % de la potencia en el punto más bajo que es la frecuencia central, por lo tanto, el parámetro de reflexión para la frecuencia de 2.4 GHz es de -27.77 dB.

El ancho de banda de la antena se ha determinado que es de un 14 % aproximadamente como se muestra en la figura 15-2, la potencia reflejada en estos puntos es menor del 10 %, consiguiendo en esta banda de frecuencias una eficiencia del 90 %.

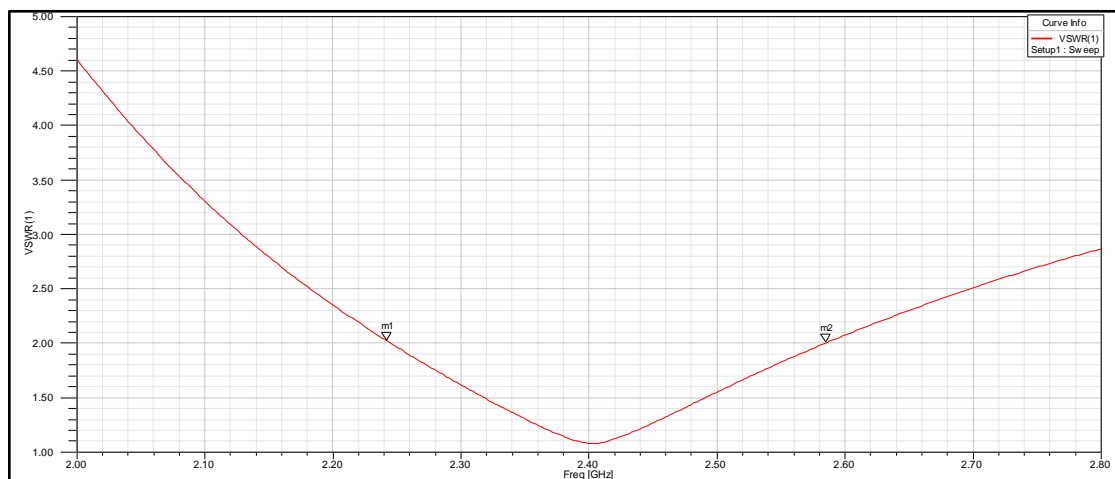


**Figura 15-2:** Parámetro  $S_{11}$  vs Frecuencia

**Fuente:** Elaboración propia

El ancho de banda conseguido es un buen resultado debido a que las antenas microstrip comúnmente trabajan con un ancho de banda del 5% al 10 %, en los mejores casos (Jiménez, Rodríguez, González 2011: 88).

Otra forma de medir el ancho de banda al que está trabajando la antena es mediante el ROE o también conocida como VSWR, que es la relación entre la potencia irradiada y la potencia entregada, para un buen nivel de adaptación se necesita que el valor de VSWR esté por debajo de 2. (Figura 16-2).



**Figura 16-2:** VSWR (ROE) vs frecuencia

**Fuente:** Elaboración propia.

Se puede ver también que para la frecuencia de 2.4 GHz se obtiene un ROE de 1.03, lo que indica que las pérdidas por retorno son reducidas y un gran porcentaje de la potencia entregada a la antena microstrip está siendo radiada. En la tabla 4-2 se muestra el rango de frecuencias en las que el valor del ROE es óptimo.

**Tabla 4-2:** Ancho de banda de la antena microstrip

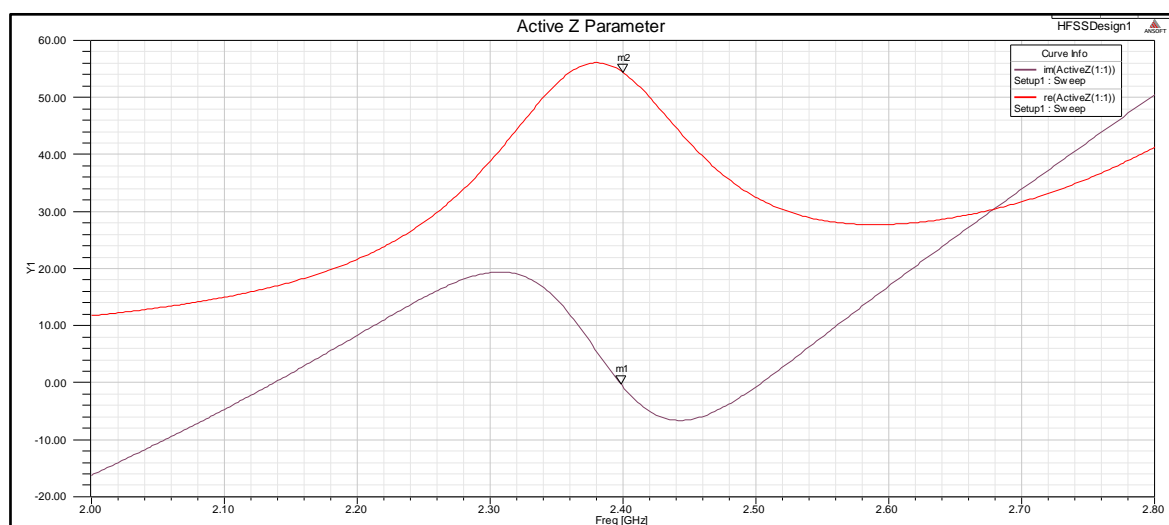
Frecuencia MÍNIMA ROE = 2	Frecuencia MÁXIMA ROE = 2	ANCHO DE BANDA
2.24 GHz	2.58 GHz	340 [MHz]

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 2.2.6.2. Parámetro Z

El parámetro Z (Figura 17-2) nos muestra los resultados de la impedancia de entrada real e imaginaria, la impedancia imaginaria que está con el marcador  $m_1$  tiene el valor de 0 en 2.4 GHz, con lo que se comprueba que la frecuencia de resonancia y de radiación de la antena microstrip se ubica en 2.4 GHz.

La impedancia real de la antena tiene el valor de 55 ohmios debido a que, la entrada de la antena se está alimentado con 50 ohmios.

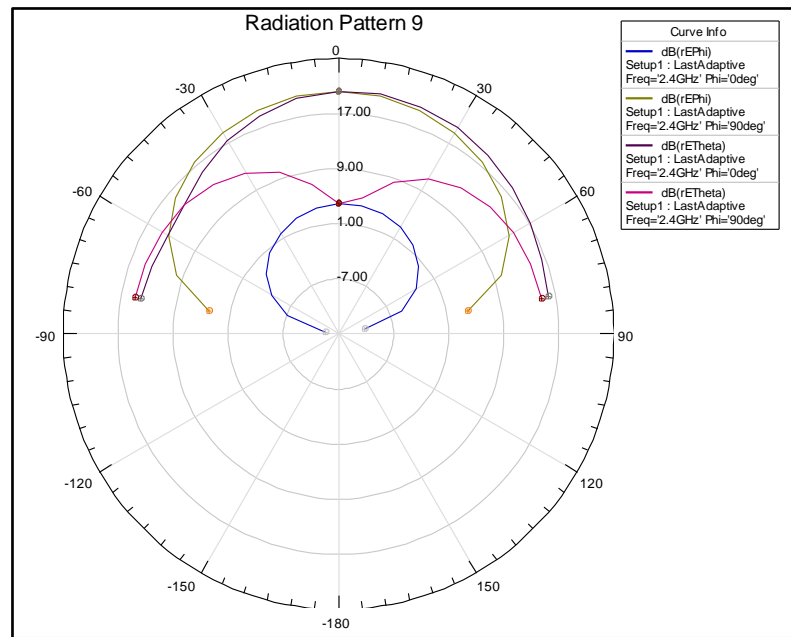


**Figura 17-2:** Parámetro Z, impedancia imaginaria e impedancia real

**Realizado por:** Elaboración propia.

### 2.2.6.3. Diagrama de radiación

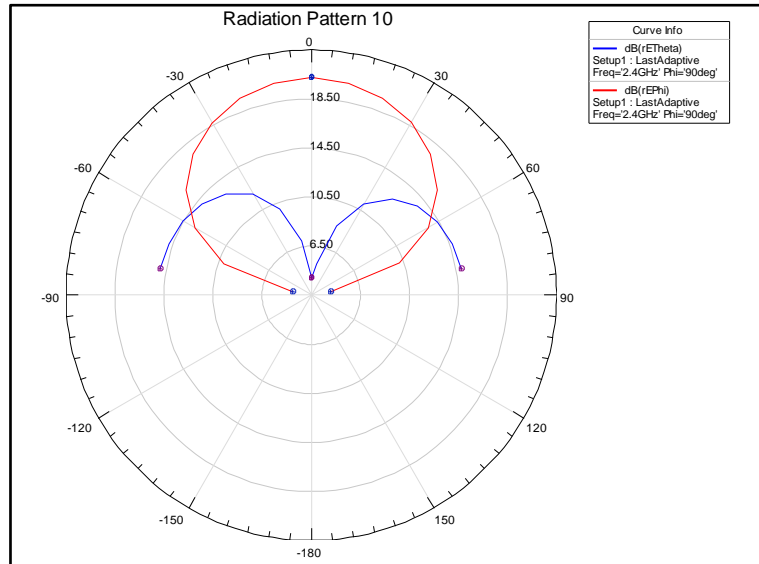
Mediante la simulación del diagrama de radiación se puede observar hacia dónde estarán orientadas las ondas radiadas por la antena, la simulación se realizó en función de la dirección de propagación del campo eléctrico en las variables ( $\theta$ ,  $\phi$ ), en 0 y 90 grados en ambos casos, como se muestra en la figura 18-2.



**Figura 18-2:** Diagrama de radiación en 2D en coordenadas polares  
**Fuente:** Elaboración propia

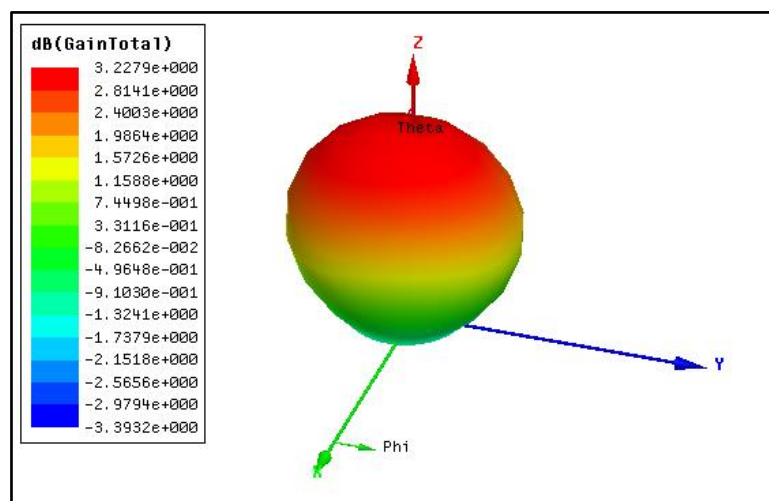
Uno de los parámetros importantes que se analiza es la polarización de la antena, que en pocas palabras es la dirección de la onda radiada por la misma, se va a analizar dos tipos de polarización en particular, la co-polarización y la polarización cruzada, esta última se puede decir que es una polarización no deseada la cual produce pérdidas de rendimiento, por esta razón nos interesa saber cuál es su comportamiento en la antena.

En la figura 19-2, la co-polarización esta representada por la línea roja, en dirección del campo magnético en  $\phi$  a 90 grados, con un valor promedio de 20 dB, que es alrededor de 16 dB superior a la polarización cruzada que se encuentra representada por la línea azul en dirección  $\theta$  a 90 grados.



**Figura 19-2:** Polarización de la antena microstrip en coordenadas polares  
**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 20-2 se muestra el diagrama de radiación de la antena en 3D, de esta forma es un poco más difícil de interpretar, pero resulta útil al momento de querer ver la dirección del lóbulo de radiación, la gráfica está en función de la ganancia total de la antena, se puede observar que el lóbulo de radiación va en un solo sentido, por lo que se considera que la antena tiene tendencia a ser directiva, sin embargo por tener una ganancia baja se la considera como una antena medianamente omnidireccional, en la dirección del eje Z.



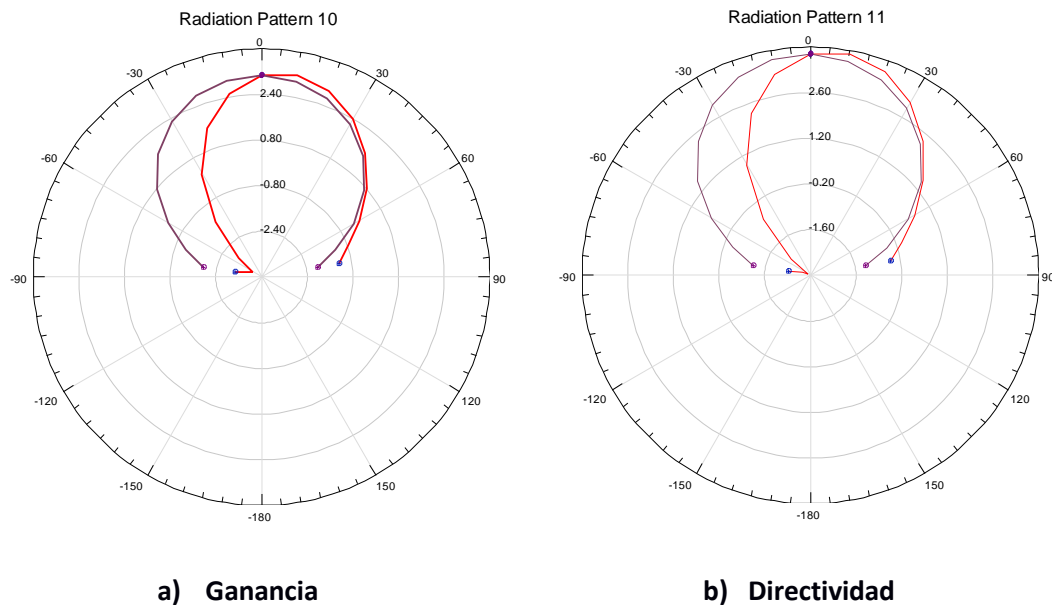
**Figura 20-2:** Diagrama de radiación en 3D  
**Realizado por:** Elaboración propia



#### 2.2.6.4. Ganancia y Directividad

En la figura 21-2 se presenta el diagrama de radiación de la ganancia total y directividad total en 0 y 90 grados, los cuales son parámetros muy parecidos, con la diferencia que la directividad no incluye las pérdidas en la antena, y la ganancia incluye las pérdidas (de conductor, dieléctrico, desajuste del punto de alimentación), por esta razón la ganancia siempre será menor que la directividad.

En la figura se puede observar que el valor de la ganancia en la parte de máxima radiación del lóbulo es de 3.22 dB, y el valor de la directividad en el mismo punto del lóbulo es de 3.78 dB, por lo tanto, se comprueba la teoría de la ganancia y la directividad.

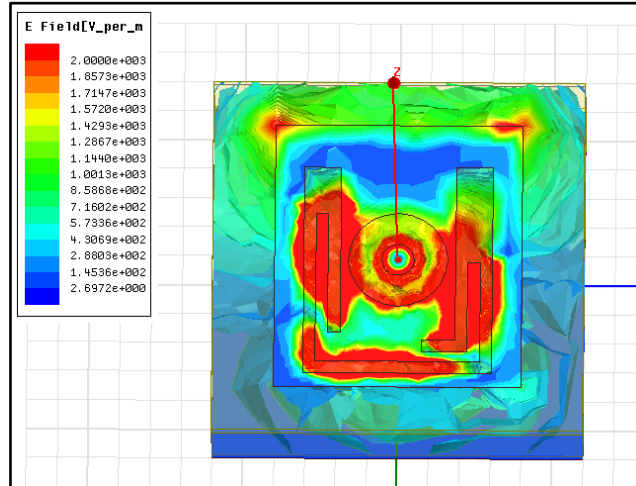


**Figura 21-2:** a) Ganancia de la antena, b) Directividad de la antena

Realizado por: Erika Zurita, 2017

#### 2.2.6.5. Distribución de la corriente eléctrica en el parche

Una antena al ser un elemento de un circuito tendrá una distribución de corrientes sobre ella. En la figura 22-2 se muestra la distribución de la corriente que en donde se localiza el parche.



**Figura 22-2:** Distribución de la corriente en el parche de la antenna microstrip  
Realizado por: Elaboración propia.

La figura en general muestra que para la frecuencia de 2.4 GHz en la que estamos trabajando, hay altos nivel de concentración del campo eléctrico, con lo que se concluye que el parche está radiando ondas a esta frecuencia. Esta distribución dependerá del punto de alimentación.

A continuación, se muestra la tabla 5-2 con el resumen de los valores más relevantes obtenidos mediante los parámetros de radiación que se analizaron.

**Tabla 5-2:** Resumen de los parámetros simulados de la antenna microstrip

FRECUENCIA 2.4 GHZ	
Parámetro	Valor
Parámetro de reflexión	-27.77 dB
ROE	1.08 Db
Ganancia	3.23 dB
Ancho de banda	340 MHZ
Eficiencia de radiación	84.65 %
Patrón de radiación	Direccional

Realizado por: Elaboración propia

## CAPITULO III

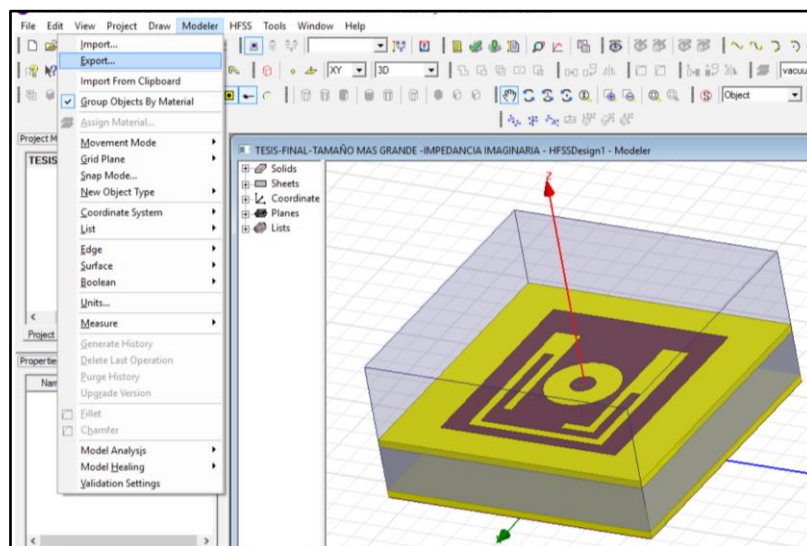
### 3. CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1. Construcción de la antena microstrip

En base a las simulaciones y resultados obtenidos anteriormente se escogió el modelo de la antena que presenta el mejor desempeño para la implementación, dicha antena servirá para realizar las pruebas de verificación y funcionamiento, para comparar resultados simulados y reales, para finalmente poder ver si cumple con los objetivos planteados en el presente trabajo.

Para el proceso de fabricación de la antena microstrip se realiza el proceso de impresión del circuito mediante los siguientes pasos:

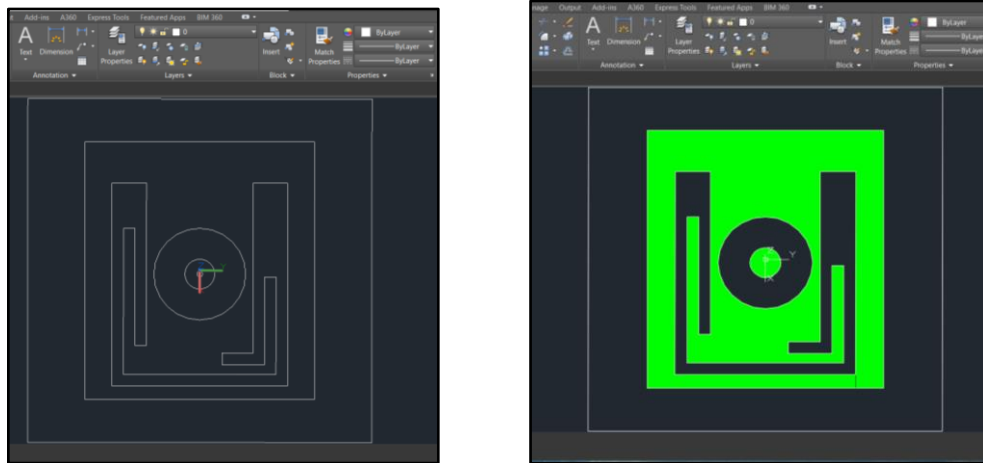
- Exportar el modelo del parche al programa AUTOCAD con extensión dxf como se muestra en la figura 1-3.



**Figura 1-3:** Exportación del diseño a AUTOCAD

Fuente: Elaboración propia

- Las medidas van a ser exactamente las mismas en AUTOCAD que en la simulación, luego procedemos a rellenar de otro color las partes del parche que van a ser de cobre (Figura 2-3).
- Una vez rellenado el parche, lo guardamos en formato PDF, procurando que las medidas se conserven, ya que hay muchos formatos con los cuales trabaja AUTOCAD.



**Figura 2-3:** Diseño de la antena microstrip en AUTOCAD

Fuente: Elaboración propia

- El modelo en AUTOCAD se ha enviado para que lo impriman con fresadora láser debido a que posee pistas pequeñas y se requiere una mayor precisión (figura 3-3), la fresadora se maneja a través de un software en el cual se ingresan las medidas exactas, y automáticamente corta el sustrato con las especificaciones requeridas.



**Figura 3-3:** Fresadora láser

Fuente: Roldán, 45

### **3.1.1. Selección de materiales**

Los materiales utilizados para la construcción de la antena microstrip fueron los siguientes:

- 2 Láminas de fibra de vidrio FR4 epoxi
- 1 Esponja de polietileno (98 % aire).
- 1 Conector SMA hembra
- 4 Tornillos de plástico
- 4 Tuercas de plástico
- Estaño
- Taladro
- Cautín
- Brocas

### **3.1.2. Procedimiento para la construcción**

- Una vez obtenido el sustrato FR4 epoxy impreso con el parche se procede a perforar el orificio en el lugar de la alimentación, la misma que se estableció de 1mm para el ingreso del pin del conector.
- Se Utiliza un conector SMA (Figura 4-3) ya que tiene muy buenas características en cuanto a microondas, es decir a altas frecuencias especialmente a 2.4 GHz, tiene una impedancia característica de  $50\ \Omega$ , y además su corto tamaño también es una ventaja, generalmente se coloca conectores macho en los extremos de cables, y los conectores hembra en las antenas.

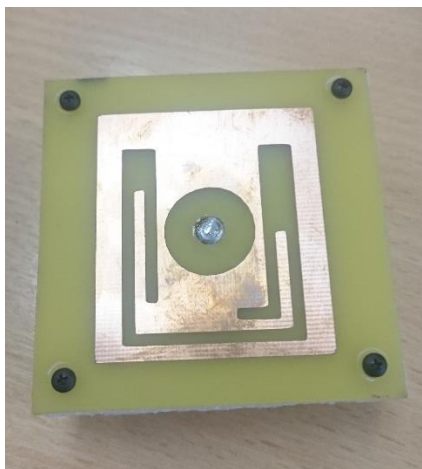


**Figura 4-3:** Conector SMA

**Fuente:** Elaboración propia

Se suelda el conector SMA a la placa FR4 epoxy que contiene el plano de tierra, en el punto de la alimentación.

- Se corta la espuma de polietileno a la misma medida que los otros dos sustratos FR4 epoxy, como se lo estableció en la simulación.
- Para la colocación de la alimentación se debe ser muy preciso para evitar problemas posteriormente y obtener un acople de impedancia fijada en  $50\ \Omega$ , y así poder acercarnos a los resultados obtenidos en la simulación. Soldamos la terminal de una resistencia con el pin del conector SMA que está soldado a la placa de tierra, y la placa que contiene el parche hasta el punto de alimentación procurando que la soldadura quede al ras de la placa.
- Perforamos orificios en los extremos de las dos placas para introducir los tornillos de plástico para ajustar las placas con la esponja, los tornillos son de plástico para que no interfiera en la señal de la antena.
- Con un multímetro se comprueba que haya continuidad en la antena, de lo contrario significaría que la alimentación está mal soldada y no hace contacto entre las placas.
- En la figura 5-3 se muestra la antena microstrip terminada.



**Figura 5-3:** Antena microstrip implementada  
**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2. Pruebas y análisis de resultados

Las pruebas se realizaron en el laboratorio de la Escuela de Electrónica Telecomunicaciones y Redes de la ESPOCH, que consta con los equipos necesarios para poder realizar las diferentes mediciones que ayudan a comprobar que la construcción se la realizó correctamente, y obtener resultados prácticos de algunos de los parámetros fundamentales de la antena microstrip para poder compararlos con los resultados simulados.

#### 3.2.1. Descripción de los equipos de medición

- **Generador de señal:** Se utilizó el generador de señal ANRITSU MG3692C que funciona para señales de radio frecuencia VHF, UHF, RF y frecuencias microondas desde 0.1 hertzios a 20 GHz, es fácil de manejar ya que funciona con controles intuitivos.
- **Analizador de espectro:** Se utilizó el analizador de espectro de la marca ANRITSU MS2724C que tiene una cobertura de frecuencias desde 9 KHz a 20 GHz, posee una velocidad de barrido mejorada, la resolución de ancho de banda va desde 1 Hz a 10 Mhz, además de contener características de buena visualización de imágenes. Se utiliza para mostrar gráficamente la intensidad de la señal frente a la frecuencia.
- **Antena de prueba tipo Monopolo:** Además de los equipos, se utiliza una antena de WiFi la cual ayuda en la transmisión, mientras que la antena microstrip trabaja como antena receptora. Esta antena se utilizó en las mediciones iniciales para comprobar el funcionamiento de la antena microstrip, una vez comprobado el buen funcionamiento se implementó otra antena microstrip con las mismas características.

Un factor importante es la calibración de los equipos, ya que las respuestas pueden no ser estables por diferentes cuestiones, ya sea el tiempo que no se los ha utilizado, o debido a pruebas anteriores, por esta razón hay que asegurarse que los equipos estén correctamente calibrados para que no infiera en malos resultados.

### 3.2.2. Mediciones

Para poder realizar las mediciones correspondientes se verifica como se dijo anteriormente, que los equipos estén bien calibrados. Una vez ubicados y conectados los equipos, se procede a colocar la antena microstrip en el analizador de espectro por medio de un adaptador para el conector SMA (Figura 6-3).



**Figura 6-3:** Ubicación de la antena en el analizador de espectro  
**Realizado por:** Elaboración propia

Se ingresa la frecuencia central y el rango de frecuencias que deseamos analizar, en este caso se hace un barrido de frecuencias desde 1.2 GHz hasta 3.6 GHz con frecuencia central de 2.4 GHz, para tener una mejor vista del nivel de potencia recibida por la antena.

Las mediciones para la frecuencia de 2.4 GHz se las realizó con la ayuda de una antena monopolo de prueba para señales Wi-Fi, y con otra antena microstrip igual a la implementada. Las dos antenas que se utilicen para la medición van a ser recíprocas, por eso es independiente cuál de ellas se emplee como transmisora y cual, como receptora, ya que el diagrama de radiación es el mismo.

La potencia enviada por el generador de señal mediante la antena transmisora debe ser adecuada para que la antena receptora la pueda captar, y así poder obtener las mediciones del nivel de potencia para el análisis de resultados. La distancia entre la antena transmisora y receptora se he establecido de aproximadamente 20 cm en el campo lejano (Figura 7-3).





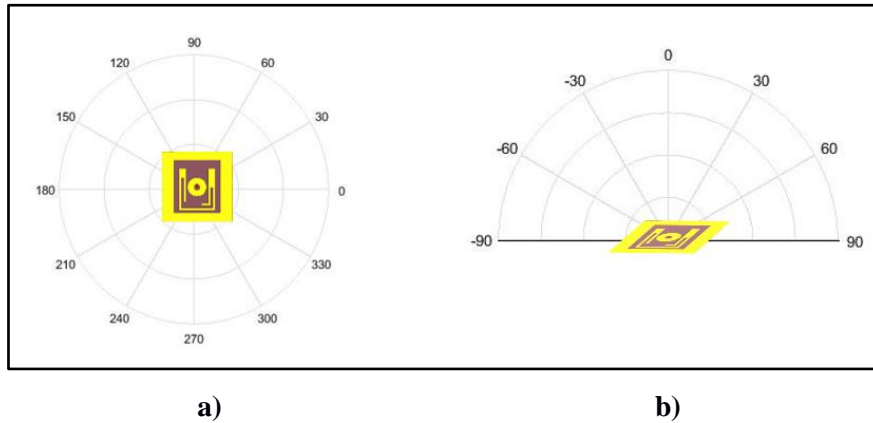
**Figura 7-3:** Medición de resultados

Realizado por: Elaboración propia

Los resultados que se van a obtener corresponden al nivel de potencia recibido por la antena microstrip en función de la posición angular de la otra antena, la representación de las variaciones angulares va a servir para graficar el diagrama de radiación mediante un muestreo para intervalos de ángulos constantes ya que es imposible obtener medidas para todos los ángulos, se hacen pausas de 20 segundos para que se estabilice la señal y tener resultados más precisos.

Las pruebas se realizaron de acuerdo a los esquemas mostrados en la figura 3-8, tomando como referencia los ángulos  $\phi$  y  $\theta$  en coordenadas polares para luego ingresar los datos obtenidos en el programa MATLAB y generar gráficas polares y cartesianas dependiendo el caso, para de esta manera ver si el patrón de radiación coincide con los resultados simulados.

- En dirección  $\phi$  que se encuentra en el eje x, y, que va de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  en la mayoría de los casos, se trabajará en  $0^\circ$  y  $90^\circ$  para la representación del patrón de radiación de la antena (Figura 8-3 (a)).
- En dirección  $\theta$  se va a representar como un ángulo de elevación de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  (Figura 8-3 (b)).

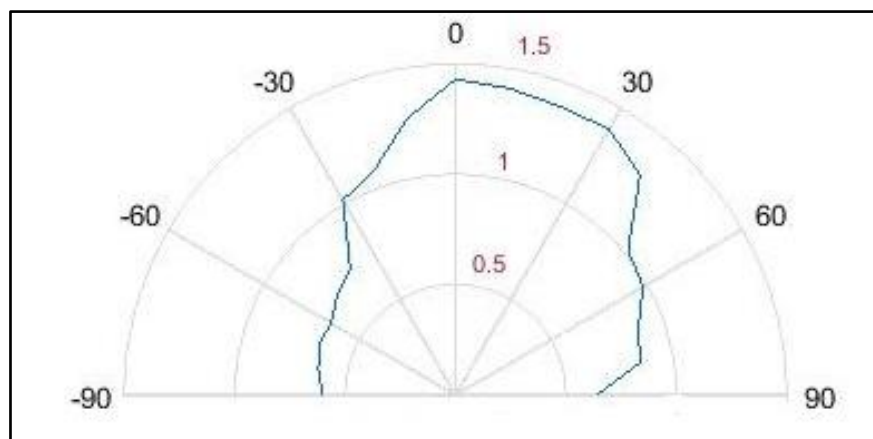


**Figura 8-3:** Esquemas utilizados para las mediciones  
Fuente: Elaboración propia

#### 3.2.2.1. Primera medición

Esta medición se la realizó a una frecuencia de 2.4 GHz en dirección  $\phi$  a  $0^\circ$ , y en dirección  $\theta$  de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  con intervalos de  $10^\circ$  aproximadamente a una distancia constante.

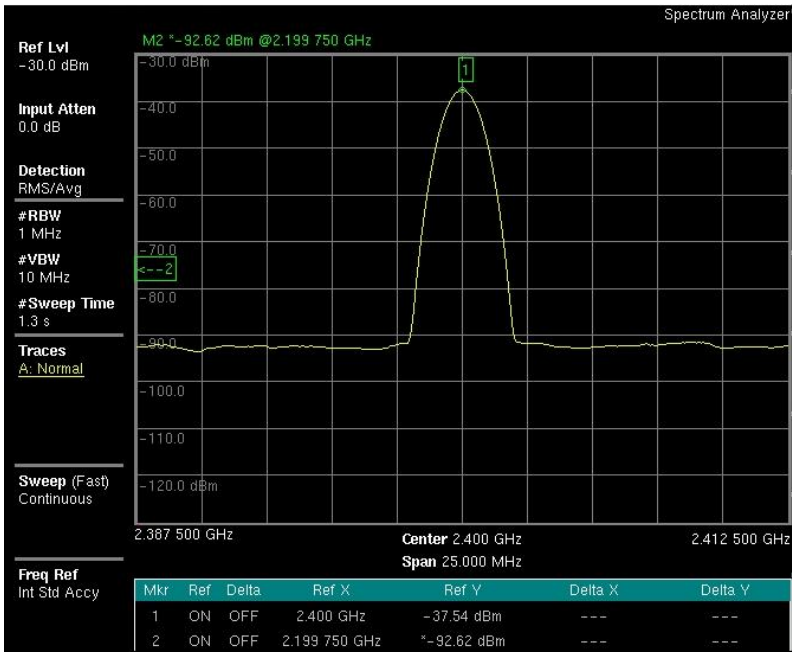
Primero se utilizó la antena monopolo para comprobar que la antena microstrip funciones correctamente y este resonando a la frecuencia indicada, posteriormente se construyó otra antena microstrip con las mismas características para las pruebas.



**Figura 9-3:** Patrón de radiación de la antena microstrip con frecuencia de 2.4 GHz para  $0^\circ$  Phi  
Realizado por: Elaboración propia

En la figura 3-9 obtenida en MATLAB se observa un lóbulo de radiación direccional en dirección z, con un ancho de haz de aproximadamente 65°, la figura se asemeja a los resultados obtenidos en la simulación, que nos mostraba un lóbulo de radiación direccional.

En la figura 3-10 se observa una de las mediciones obtenidas con el analizador de espectro, todas las medidas obtenidas fueron normalizadas para poder realizar las gráficas en el programa MATLAB.



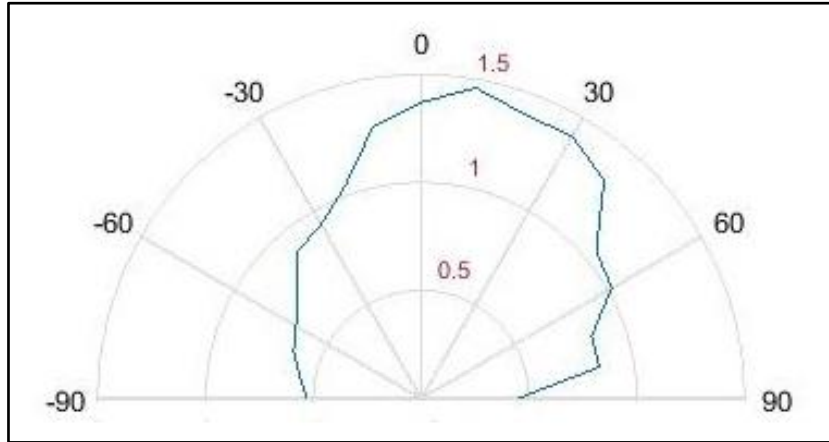
**Figura 10-3:** Medición para la frecuencia 2.4 GHz

Para las mediciones de los diagramas de radiación se optó por enviar más potencia con el generador de señal para obtener resultados más claros

### 3.2.2.2. Segunda medición

Se realiza el mismo procedimiento que en la primera medición, pero ahora se tomará valores en dirección  $\phi$  a 90°, y en dirección  $\theta$  con el mismo intervalo anterior.

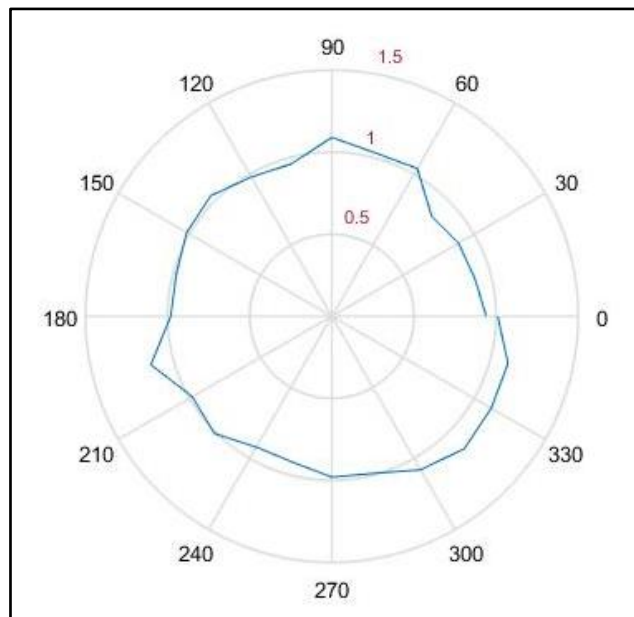
El patrón de radiación obtenido se muestra en la figura 11-3.



**Figura 11-3:** Patrón de radiación de la antena microstrip con frecuencia de 2.4 GHz para 90° Phi.  
**Realizado por:** Elaboración propia

### 3.2.2.3. Tercera medición

Esta medición se la realiza en dirección  $\phi$  en el eje x, y, que va de 0° a 360°, con intervalos de 15°.



**Figura 12-3:** Patrón de radiación con frecuencia de 2.4 GHz en el eje x, y  
**Fuente:** Elaboración propia

La figura 12-3 muestra una vista superior del patrón de radiación de la antena microstrip, se observa que el nivel de potencia en esta dirección es bajo, debido a que el lóbulo de radiación se encuentra en dirección Z, por lo tanto, no se la puede considerar una antena omnidireccional.

A diferencia de los resultados de la simulación, la forma del lóbulo de radiación tiene na forma más circular.

#### 3.2.2.4. Cuarta medición

Para poder comprobar el espectro de frecuencias en el que trabaja la antena con buen rendimiento, o ancho de banda, se ha tomado medidas del nivel de potencia recibida o reflejada en la dirección de máxima radiación de la antena. Para esta medición se utilizó la otra antena microstrip. Se consideró la tabla 1-3, como referencia para indicar el nivel de potencia recibo por la antena microstrip.

**Tabla 1-3:** Interpretación de valores de nivel de potencia de la señal

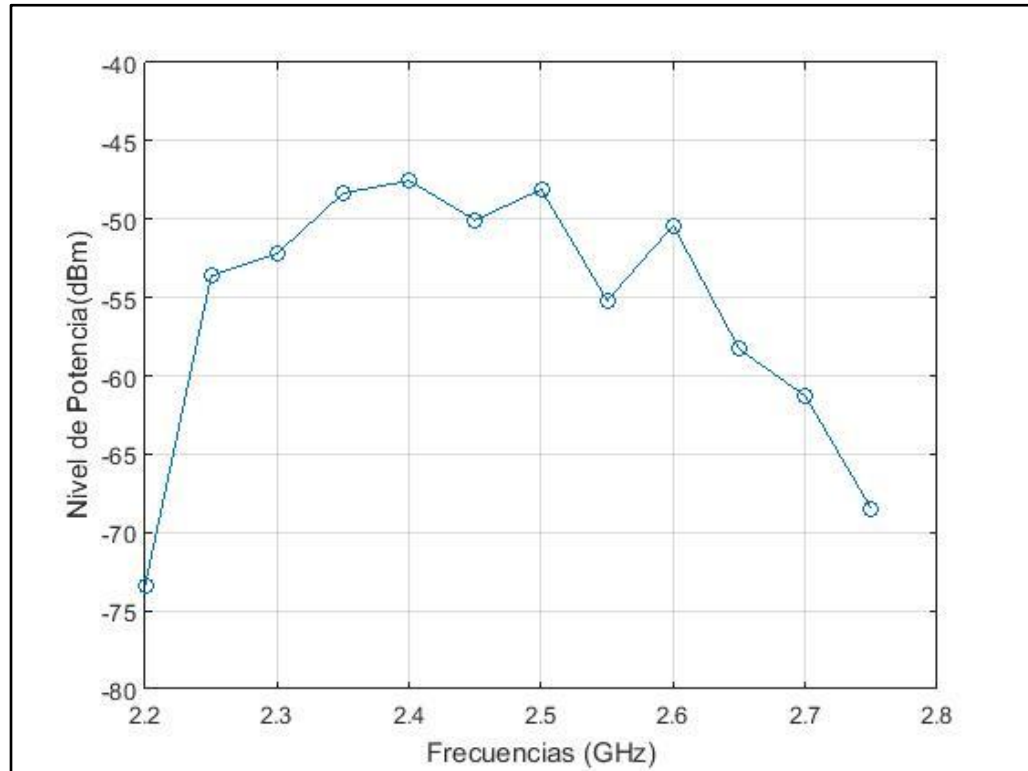
Valores	Interpretación
<b>0</b>	Señal ideal, difícil de lograr en la práctica
<b>-40 a -60</b>	Señal idónea con tasas de transferencia estables
<b>-60</b>	Enlace bueno, conexión estable del 80%
<b>-70</b>	Enlace normal a bajo, puede sufrir problemas por interferencia
<b>-80</b>	Señal mínima aceptable

**Realizado por:** Elaboración propia

**Fuente:** [https://es.wikipedia.org/wiki/Indicador\\_de\\_fuerza\\_de\\_la\\_señal\\_recibida](https://es.wikipedia.org/wiki/Indicador_de_fuerza_de_la_señal_recibida)

Se realizó un barrido de frecuencias desde 2.2 GHz hasta 2.75 GHz aumentando y disminuyendo la frecuencia, este rango de frecuencias es el que obtuvo mejores niveles de potencia, la potencia que se envió desde el generador de señal fue de -10 dBm que es considerada una señal estable.

En la figura 13-3 se observa la potencia reflejada por la antena en las frecuencias desde 2.25 GHz hasta 2.7 GHz, que significa que se la antena está trabajando con un ancho de banda estable de 450 MHz

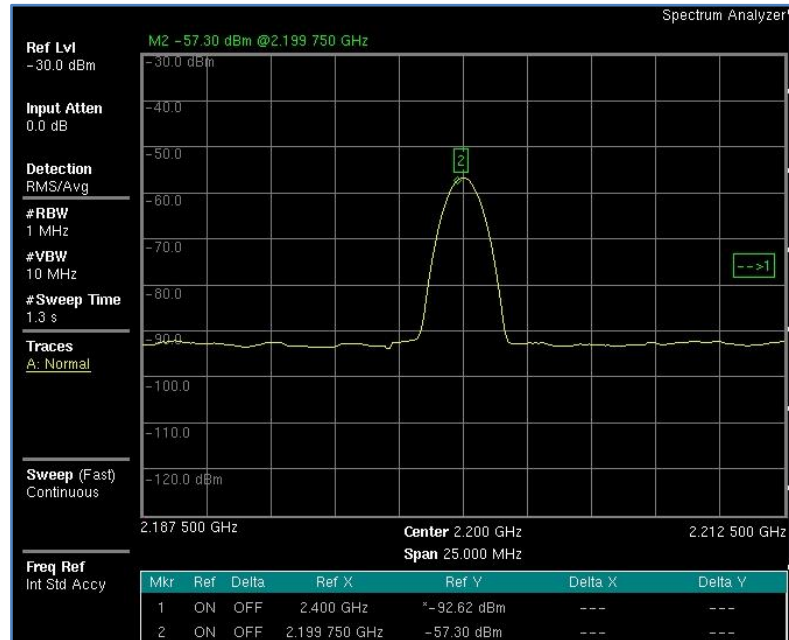


**Figura 13-3:** Barrido de frecuencias

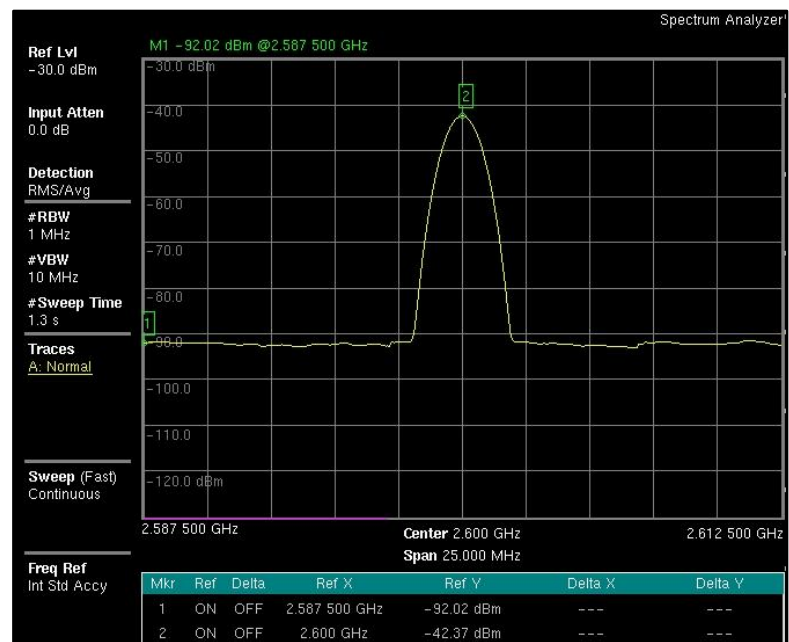
Fuente: Elaboración propia

La figura 14-3 muestra la medición obtenida por el analizador de espectro a la frecuencia de 2,2 GHz, y la figura 15-3 a la frecuencia de 2.6 GHz

El ancho de banda con el que trabaja el analizador de espectro tiene un valor de 10 MHz máximo, el cual está limitado por el mismo equipo, mediante las mediciones se puede comprobar que la antena está radiando a la frecuencia deseada con niveles de potencia mayor a las obtenidas en otras frecuencias.



**Figura 14-3:** Medición en la frecuencia de 2.2 GHz  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 15-3:** Medición en la frecuencia de 2.6 GHz  
Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3. Discusión de resultados

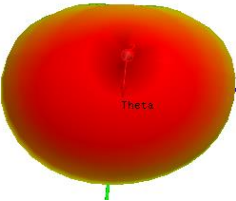
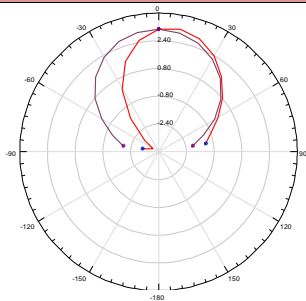
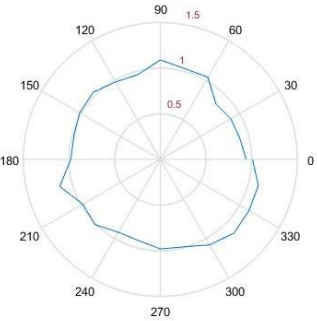
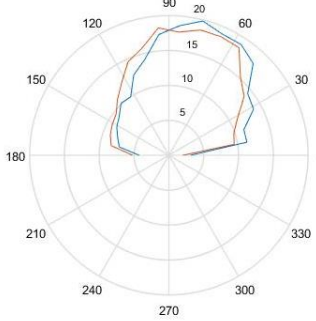
#### 3.2.3.1. Diagramas de radiación

En la tabla 2-3 se muestra la comparación de los diagramas de radiación en 2D y 3D, las gráficas muestran una similitud entre sí, en la simulación se obtiene un ancho de haz aproximadamente  $65^\circ$ , mientras que en las mediciones es logra llegar a los  $70^\circ$ .

En la vista superior del lóbulo de radiación que se puede ver mediante la gráfica en 3D igualmente se logra una figura muy parecida a la simulación, debido principalmente a que esta forma de lóbulo es característico de las antenas microstrip.

Se puede destacar que una de las características de las antenas microstrip es que se ha logrado diseños simulados muy parecidos a lo que va a ser en la implementación.

**Tabla 2-3:** Comparación de diagramas de radiación

Tipo de diagrama	Diagrama de radiación (3D)	Patrón de radiación (2D)
<b>SIMULACIÓN</b>		
<b>MEDICIONES</b>		

**Fuente:** Elaboración propio



### 3.2.3.2. Ancho de Banda

Se obtuvo mediciones con referencia a la variación del nivel de potencia recibido en un rango de frecuencias de 2.2 GHz a 2.75 GHz, en el que se obtuvo un ancho de banda de 450 MHz superior a lo obtenido en la simulación.

En la tabla 3-3 se muestra el resumen de resultados simulados y reales del ancho de banda obtenido.

**Tabla 3-3:** Comparación del ancho de banda simulado y real

	<b>SIMULADO</b>	<b>REAL</b>
<b>ANCHO DE BANDA</b>	340 MHz	450 MHz

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2.3.3. Influencia de los materiales en la antena

Como se dijo anteriormente, la elección de los materiales para la construcción de la antena microstrip son un factor muy importante, ya que estos ayudan a que se obtenga mejor eficiencia de radiación, al posicionamiento de la frecuencia de resonancia, o la mejora del ancho de banda.

**Tabla 4-3:** Influencia de los materiales en la antena

<b>MATERIAL</b>	<b>Descripción</b>
<b>FR4 epoxi (Fibra de vidrio)</b>	Elegir un sustrato con baja constante dieléctrica aumentaría el ancho de banda, produciría menos pérdidas, y se obtiene mayor eficiencia de radiación
	Se puede aumentar el tamaño del parche respecto al calculado, se puede aumentar el ancho de banda, pero esto conllevaría a pérdida en el rendimiento.

<b>España</b>	La esponja es un sustrato ideal en muchos casos por su baja permitividad, pero causa que la antena tenga poca robustez.
	La frecuencia de resonancia disminuye si se aumenta el espesor del sustrato.

**Fuente:** Elaboración propia

Para este trabajo se utilizó materiales que se encuentran fácilmente en el mercado, pero se puede hacer la elección de otros tipos de materiales con mejores características, en la tabla 4-3 se muestra una breve descripción de la influencia del sustrato sustratos y dieléctrico en el funcionamiento de la antena.

#### 3.2.3.4. Costos de fabricación de la antena

Al utilizar componentes que se encuentran en el mercado local, los costos se han reducido considerablemente, pero en sí, la construcción de antenas microstrip se caracteriza por su bajo costo y facilidad de fabricación.

En la tabla 5-3 se detallan los materiales que se han utilizado.

**Tabla 5-3:** Costos de fabricación

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>
Placa FR4 epoxi	1	\$ 4.50
Conector SMA	1	\$ 3.50
Esponja de polietileno	1	\$ 1.50
Tornillos	4	\$ 1.44
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 10.94</b>

**Fuente:** Elaboración propia

### **3.3. Sistematización del problema**

#### **¿El tamaño compacto influye directamente en el ancho de banda de las antenas microstrip?**

Si, debido a que este tipo de antenas tienen como cualidades principales el ser utilizadas en aplicaciones en las que se necesita antenas compactas y que se ajusten a superficies no planas, lo cual ha disminuido algunos parámetros importantes como el ancho de banda, esto ha generado que se busque diferentes métodos para mejorar estas deficiencias.

#### **¿Cuáles son los aspectos relevantes en el diseño de antenas compactas?**

Los aspectos más importantes a la hora del diseño y posterior construcción de antenas microstrip son los materiales que se utiliza, existen un sinnúmero de sustratos y dieléctricos que ayudan a que la antena tenga un mejor desempeño. A si también un conocimiento de los parámetros fundamentales de antenas, ayudará a que se estructure la antena con la mayor precisión en la simulación para poder tener buenos resultados en la implementación.

El diseño del parche es otro de los aspectos fundamentales ya que éste definirá en gran parte la frecuencia de resonancia, y en conjunto con el dieléctrico o sustrato definirá los parámetros de la antena.

#### **¿Los métodos existentes para mejorar el ancho de banda en antenas microstrip han tenido buenos resultados?**

Siempre ha sido una prioridad la mejora del ancho de banda de las antenas microstrip, por esta razón se puede encontrar muchos estudios que arrojan diferentes tipos de avances y resultados, que nos brindan nuevos modelos, configuraciones, algoritmos, que se los puede analizar e ir comprobando su funcionalidad, así como se lo ha hecho con el algoritmo SLOT-LOADED.

#### **¿Cómo se puede aumentar el ancho de banda en antenas microstrip?**

En primer lugar, lo que ayuda a la mejora de cualquier dispositivo son las pruebas que se realizan al respecto, ya que al utilizar diferentes materiales se va sacando conclusiones de cuales brindan mejores

características que otros, y que diseños de parches funcionaron más al combinarlos con estos materiales. Por esta razón ya existen estructuras que han podido mejorar el ancho de banda de las antenas microstrip como lo es el algoritmo SLOT-LOADED, el cual utiliza un parche en forma de U, y la inclusión de un dieléctrico entre dos sustratos, lo que ha permitido mejorar el ancho de banda de la antena microstrip de 2.4 GHz.

Si bien no se puede obtener un gran aumento en el ancho de banda comparable con otro tipo de antenas, si se ha logrado un porcentaje de mejora, lo que hace que se tome en cuenta a este algoritmo para otro tipo de estudios.

### **¿Cuál sería la principal escalabilidad de una antena microstrip compacta?**

La característica que define a las antenas microstrip y que hace que se la utilice en un sinnúmero de aplicaciones es su tamaño compacto, ya que vivimos en un mundo en constante evolución y que siempre se encuentra en la búsqueda de dispositivos más pequeños que se acoplen a las diferentes necesidades tecnológicas, convierte a las antenas microstrip en un referente tecnológico que siempre está evolucionando para poder adaptarse mejor a las diferentes aplicaciones que las requieran.

## CONCLUSIONES

Una vez concluido el presente trabajo se ha podido llegar a las siguientes conclusiones:

- La correcta interpretación de resultados dependió de los conocimientos adquiridos sobre fundamentos de antenas.
- Para el diseño de la antena microstrip se analizó el algoritmo SLOT-LOADED, mediante el cual se obtuvo las dimensiones adecuadas para la simulación y posterior implementación. Se consiguió una antena que trabaja con una frecuencia de resonancia de 2.4 GHz, y por lo tanto se ha comprobado que la utilización del algoritmo SLOT-LOADED es adaptable a altas frecuencias.
- En la simulación, para la frecuencia de 2.4 GHz el ROE muestra un valor de 1.08 dB, lo que indica una efectividad de acoplamiento muy buena, ya que casi toda la potencia es transmitida y por lo tanto la onda reflejada es mínima. En cuanto a pérdidas por retorno, se obtuvo un valor de -27.77 dB para la frecuencia de 2.4 GHz y además se consiguió un ancho de banda considerable de 340 MHz.
- En la simulación el patrón de radiación para la frecuencia de 2.4 GHz muestra que es direccional en dirección z, con una ganancia de 3.22 dB; mediante las mediciones en el laboratorio se obtuvo un patrón de radiación similar al simulado con lo que se comprueba que la construcción no afectó en gran medida los resultados.
- Al utilizar el algoritmo SLOT-LOADED se pudo obtener un ancho de banda del 14% aproximadamente, superior en comparación a otras antenas microstrip que por lo general logran un ancho de banda de 5 – 8 %,
- La construcción de la antena microstrip se la pudo realizar con cierta facilidad, debido a que se optó por utilizar materiales accesibles y con un presupuesto bajo.

- El software ANSOFT DESIGNER resulto ser un programa muy completo en lo que concierne al diseño de antenas, ya que se puede hacer el cálculo de parámetros fundamentales de funcionamiento.
- El presente trabajo es un aporte para estudios futuros en los que se quiera alcanzar mejoras en el diseño y se pretenda trabajar con otro tipo de materiales que ayuden a mejorar las prestaciones de este tipo de antenas.
- La ganancia de 3.24 dB obtenida en la simulación fue buena para esta antena ya que debido a su tamaño es difícil aumentarlo, y no se profundizo en este parámetro ya que el tema principal es la técnica de mejora del ancho de banda.
- La medición del ROE permitió saber el acoplamiento de impedancias de la antena a diferentes frecuencias, y así obtener una medición del ancho de banda más preciso en la simulación, tratando de mantenernos siempre en valores siempre mayores o iguales a uno y menores que dos (la relación de onda estacionaria es un numero positivo sin dimensiones) para que se considere a la antena apta para emitir radiación.

## RECOMENDACIONES

- La elección de los materiales es fundamental a la hora de implementar cualquier tipo de antenas
- Se recomienda para futuros trabajos la realización de arreglos de antenas microstrip con otro tipo de configuraciones con el fin de mejorar las falencias como la ganancia de la antena y conseguir un mayor ancho de banda.
- Para el diseño de antenas, hacer que una antena resuene a una frecuencia en especial es sencillo conociendo la longitud de onda.
- Para el diseño de la antena en el software ANSOFT HFSS se debe tener muy en cuenta las condiciones y propiedades asignadas a la antena, ya que, si no se las utiliza correctamente, los resultados van a ser afectados o van a aparecer errores que impidan la simulación.
- Los conocimientos previos de parámetros de antenas son fundamental para la correcta interpretación de resultados que nos van a mostrar si la antena está funcionando adecuadamente, entre los parámetros más importantes se encuentra: ROE, directividad, Eficiencia, Parámetro S, Parámetro Z, Patrón de radiación, etc.
- Para las mediciones y obtención de resultados se puede optar por realizar las pruebas en una cámara anecoica ya que ésta absorbe completamente cualquier interferencia o reflexiones producidas en el exterior, y así se obtiene resultados precisos del funcionamiento de la antena.
- Para análisis posteriores se recomienda el cálculo de los parámetros de la antena tomando en cuenta pérdidas en el espacio libre, por conectores, por cable, etc.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALVAREZ, ROD, & NOBREGA, ALBERTO.** Desarrollo de un arreglo de antenas Patch en la banda 300-650 MHZ [En línea] (tesis) (ingeniería). Universidad Católica Andrés Bello, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones. Caracas, Colombia. 2013. pp. 5-14. [Consulta: 15-02-2017]. Disponible en:

<http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS7533.pdf>

**ARMIJOS, LEONEL.** Diseño virtual de un arreglo de antenas para sistemas de radio cognitiva basado en el estándar IEEE 802.22 WRAN (Tesis) (Ingeniería) [en línea]. Universidad Nacional de Loja, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones. Ecuador-Loja. 2016. pp.8-26. [Consulta: 2017-01-25]. Disponible en:

<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17200/1/Armijos%20González,%20Leonel%20Eduardo.pdf>

**ARGUELLO, JORGE & ARIAS, LUIS.** Diseño e implementación de un prototipo de antena directiva de microlínea en la banda de 2,4 GHz [En línea] (tesis) (ingeniería). Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Eléctrica y Electrónica, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones. Ecuador-Sangolquí. 2009. pp. 74-80. [Consulta: 01-03-2017]. Disponible en:

<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/121>

**BALANIS, C.** *Antenna Theory Analysis and Desing*. 3ª edición. New Jersey – Estados Unidos: John Wiley & sons, inc, 2005, pp. 811-814.

**DI MASSA, GIUSEPPE.** 2012. Design of a new broadband slot-loaded patch antenna [resumen]. *Research Gate*, no.2, pp. 225-230.

**GALLARDO. S,** *Elementos de Sistemas de Telecomunicaciones* [En línea], 1ª edición, España, Paraninfo SA, 2015 [Consulta: 20 de Enero de 2017]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=Jz5ACQAAQBAJ&lpg=PP1&dq=Elementos%20de%20sist>



[emas%20de%20telecomunicaciones&pg=PP1#v=onepage&q=Elementos%20de%20sistemas%20de%20telecomunicaciones&f=false](#)

**HERNÁNDEZ. A.** Diseño, simulación y construcción de antenas tipo parche para bluetooth y WI-FI, bandas 2.4 Ghz y 5.8 Ghz [En línea]. (Tesis). (Licenciatura). Universidad de las Américas Puebla, Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones. Departamento de Computación, Electrónica y Mecatrónica, Escuela de Ingeniería y Ciencias. Puebla, México. 2008. pp. 14-17. [Consulta: 2017-01-05]. Disponible en:

[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/hernandez\\_a\\_r/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_a_r/capitulo2.pdf)

**MALDONADO, ALLEN.** *Antenas Patch Microstrip* [Blog]. [Consulta: 15 diciembre 2016]. Disponible en: <http://sistemas-com.blogspot.com/2009/09/antena-patch-microstrip.html>

**MONACHESI. E, FRENZEL, A, CHAILE. G, CARRASCO. A, GÓMEZ.** *Efecto de la Foresta en las Transmisiones electromagnéticas dentro de una WLAN* [en línea]. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional. 2011. [Consulta: 20 enero 17]. Disponible en:

[http://www.edutecne.utn.edu.ar/wlan\\_frt/antenas.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/wlan_frt/antenas.pdf)

**PLEITE, LAURA.** Diseño de antenas de ranura de doble banda en tecnología inverted microstrip gap waveguide de bajo coste [En línea] (tesis). Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones. Madrid-España. pp. 6-21. [Consulta: 18-01-2017]. Disponible en: <http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/23440>

**ROLDAN, ALVARO.** Diseño y simulación de una antena plana [En línea] (tesis). Universidad Pública de Navarra, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. Pamplona. pp. 10-13. [Consulta: 15-02-2017]. Disponible en:

<http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/3546/577434.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**SÁNCHEZ IBARRA, DIANA.** Diseño, Construcción y Caracterización de antenas para UHF [en línea]. Tesis (Licenciatura en Ingeniería en Electrónica y Mecatrónica). Puebla, México. Departamento de Computación, Electrónica y Mecatrónica, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Universidad de las Américas Puebla, 2007. pp. 21-23.

Disponible en: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/sanchez\\_i\\_d/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/sanchez_i_d/capitulo3.pdf)

**SANMARTÍN, J. L. B., CASTAÑER, M. S.** *Parámetros Básicos de Transmisión y Recepción* [en línea]. Madrid: OCW UPM - OpenCourseWare de la Universidad Politécnica de Madrid. [Consultado: 27 de enero 2017]. Disponible en: <http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/radiacion-y-propagacion>

**JIMÉNEZ, JOSÉ; RODRÍGUEZ, JOSÉ Y GONZÁLEZ, VICENTE.** 2016. Procedimiento de Diseño y Realización de Antenas de Parche en Tecnología Microstrip [Informe]. Departamento de Ingeniería Audiovisual y Comunicaciones. DIAC. [Consultado: 20-02-2017]. Disponible en: <http://polired.upm.es/index.php/iac/article/view/1762/1774>

## ANEXO A

- Tabla de valores de VSWR o ROE y pérdidas por retorno

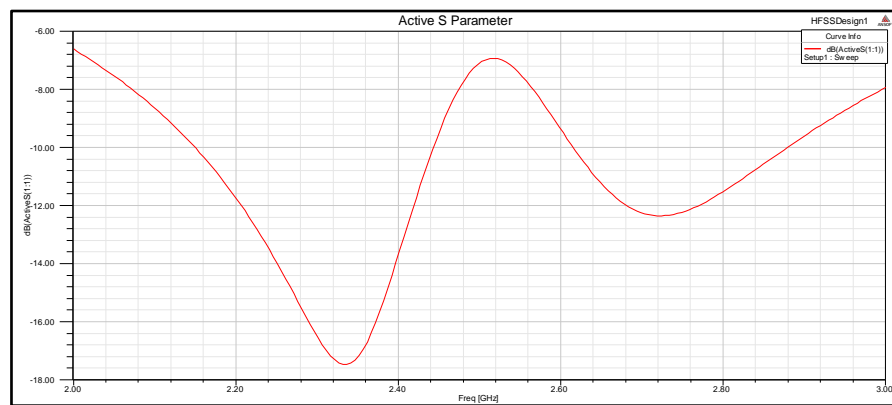
THE EFFECT OF VSWR ON TRANSMITTED POWER													
VSWR	VSWR (dB)	RETURN LOSS (dB)	TRANS. LOSS (dB)	VOLT. REFL. COEFF.	POWER TRANS. (%)	POWER REFL. (%)	VSWR	VSWR (dB)	RETURN LOSS (dB)	TRANS. LOSS (dB)	VOLT. REFL. COEFF.	POWER TRANS. (%)	POWER REFL. (%)
1.00	.0	∞	.000	.00	100.0	.0	1.64	4.3	12.3	.263	.24	94.1	5.9
1.01	.1	46.1	.000	.00	100.0	.0	1.66	4.4	12.1	.276	.25	93.8	6.2
1.02	.2	40.1	.000	.01	100.0	.0	1.68	4.5	11.9	.289	.25	93.6	6.4
1.03	.3	36.6	.001	.01	100.0	.0							
1.04	.3	34.2	.002	.02	100.0	.0	1.70	4.6	11.7	.302	.26	93.3	6.7
							1.72	4.7	11.5	.315	.26	93.0	7.0
1.05	.4	32.3	.003	.02	99.9	.1	1.74	4.8	11.4	.329	.27	92.7	7.3
1.06	.5	30.7	.004	.03	99.9	.1	1.76	4.9	11.2	.342	.28	92.4	7.0
1.07	.6	29.4	.005	.03	99.9	.1	1.78	5.0	11.0	.356	.28	92.1	7.9
1.08	.7	28.3	.006	.04	99.9	.1							
1.09	.7	27.3	.008	.04	99.8	.2	1.80	5.1	10.9	.370	.29	91.8	8.2
							1.82	5.2	10.7	.384	.29	91.5	8.5
1.10	.8	26.4	.010	.05	99.8	.2	1.84	5.3	10.6	.398	.30	91.3	8.7
1.11	.9	25.7	.012	.05	99.7	.3	1.86	5.4	10.4	.412	.30	91.0	9.0
1.12	1.0	24.9	.014	.06	99.7	.3	1.88	5.5	10.3	.426	.31	90.7	9.3
1.13	1.1	24.3	.016	.06	99.6	.4							
1.14	1.1	23.7	.019	.07	99.6	.4	1.90	5.6	10.2	.440	.31	90.4	9.6
							1.92	5.7	10.0	.454	.32	90.1	9.9
1.15	1.2	23.1	.021	.07	99.5	.5	1.94	5.8	9.9	.468	.32	89.8	10.2
1.16	1.3	22.6	.024	.07	99.5	.5	1.96	5.8	9.8	.483	.32	89.5	10.5
1.17	1.4	22.1	.027	.08	99.4	.6	1.98	5.9	9.7	.497	.33	89.2	10.8
1.18	1.4	21.7	.030	.08	99.3	.7							
1.19	1.5	21.2	.033	.09	99.2	.8	2.00	6.0	9.5	.512	.33	88.9	11.1
							2.50	8.0	7.4	.881	.43	81.6	18.4
1.20	1.6	20.8	.036	.09	99.2	.8	3.00	9.5	6.0	1.249	.50	75.0	25.0
1.21	1.7	20.4	.039	.10	99.1	.9	3.50	10.9	5.1	1.603	.56	69.1	30.9
1.22	1.7	20.1	.043	.10	99.0	1.0	4.00	12.0	4.4	1.938	.60	64.0	36.0
1.23	1.8	19.7	.046	.10	98.9	1.1							
1.24	1.9	19.4	.050	.11	98.9	1.1	4.50	13.1	3.9	2.255	.64	59.5	40.5
							5.00	14.0	3.5	2.553	.67	55.6	44.4
1.25	1.9	19.1	.054	.11	98.8	1.2	5.50	14.8	3.2	2.834	.69	52.1	47.9
1.26	2.0	18.8	.058	.12	98.7	1.3	6.00	15.6	2.9	3.100	.71	49.0	51.0
1.27	2.1	18.5	.062	.12	98.6	1.4	6.50	16.3	2.7	3.351	.73	46.2	53.8
1.28	2.1	18.2	.066	.12	98.5	1.5							
1.29	2.2	17.9	.070	.13	98.4	1.6	7.00	16.9	2.5	3.590	.75	43.7	56.2
							7.50	17.5	2.3	3.817	.76	41.5	58.5
1.30	2.3	17.7	.075	.13	98.3	1.7	8.00	18.1	2.2	4.033	.78	39.5	60.5
1.32	2.4	17.2	.083	.14	98.1	1.9	8.50	18.6	2.1	4.240	.79	37.7	62.3
1.34	2.5	16.8	.093	.15	97.9	2.1	9.00	19.1	1.9	4.437	.80	36.0	64.0
1.36	2.7	16.3	.102	.15	97.7	2.3							
1.38	2.8	15.9	.112	.16	97.5	2.5	9.50	19.6	1.8	4.626	.81	34.5	65.5
							10.00	20.0	1.7	4.807	.82	33.1	66.9
1.40	2.9	15.6	.122	.17	97.2	2.8	11.00	20.8	1.6	5.149	.83	30.6	69.4
1.42	3.0	15.2	.133	.17	97.0	3.0	12.00	21.6	1.5	5.466	.85	28.4	71.6
1.44	3.2	14.9	.144	.18	96.7	3.3	13.00	22.3	1.3	5.762	.86	26.5	73.5
1.46	3.3	14.6	.155	.19	96.5	3.5							
1.48	3.4	14.3	.166	.19	96.3	3.7	14.00	22.9	1.2	6.040	.87	24.9	75.1
							15.00	23.5	1.2	6.301	.88	23.4	76.6
1.50	3.5	14.0	.177	.20	96.0	4.0	16.00	24.1	1.1	6.547	.88	22.1	77.9
1.52	3.6	13.7	.189	.21	95.7	4.3	17.00	24.6	1.0	6.780	.89	21.0	79.0
1.54	3.8	13.4	.201	.21	95.5	4.5	18.00	25.1	1.0	7.002	.89	19.9	80.1
1.56	3.9	13.2	.213	.22	95.2	4.8							
1.58	4.0	13.0	.225	.22	94.9	5.1	19.00	25.6	.9	7.212	.90	19.0	81.0
							20.00	26.0	.9	7.413	.90	18.1	81.9
1.60	4.1	12.7	.238	.23	94.7	5.3	25.00	28.0	.7	8.299	.92	14.8	85.2
1.62	4.2	12.5	.250	.24	94.4	5.6	30.00	29.5	.6	9.035	.94	12.5	87.5

## ANEXO B

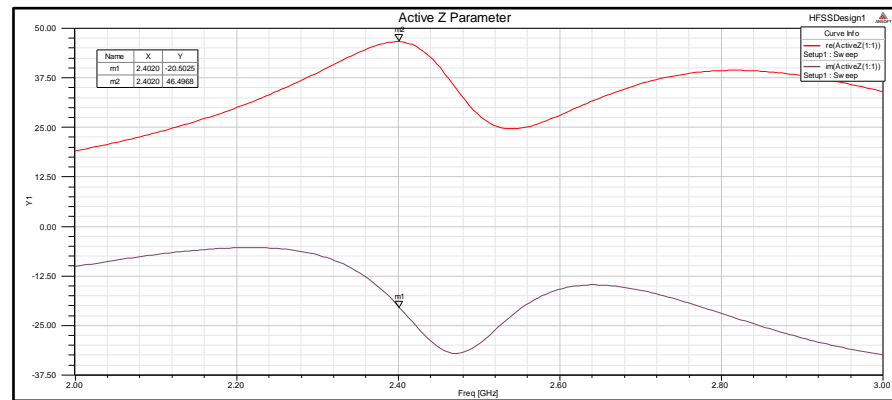
### RESULTADO DE LAS SIMULACIONES

#### Diseño # 1

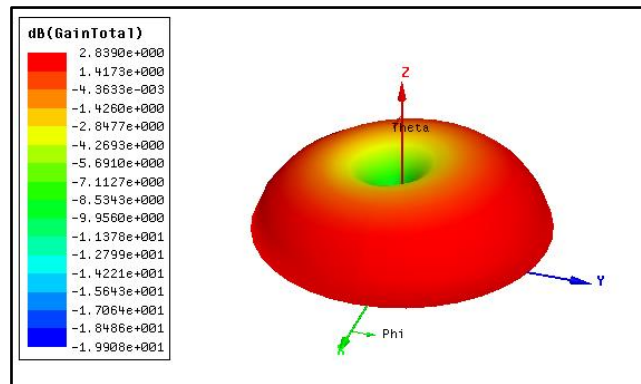
- Parámetro  $S_{11}$  vs Frecuencia



- Parámetro Z

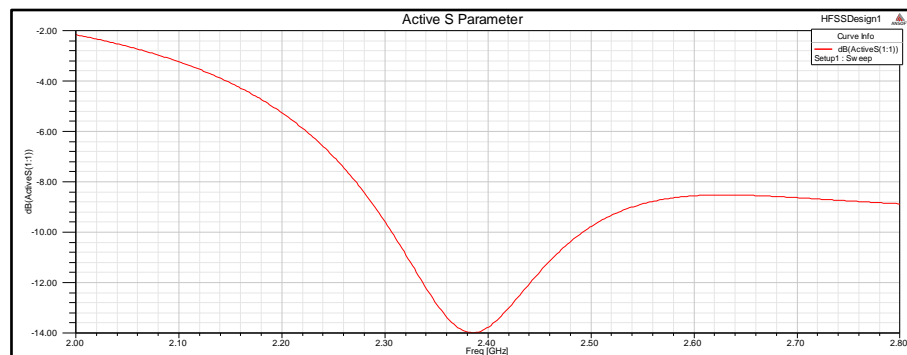


- Diagrama 3D de la Ganancia total

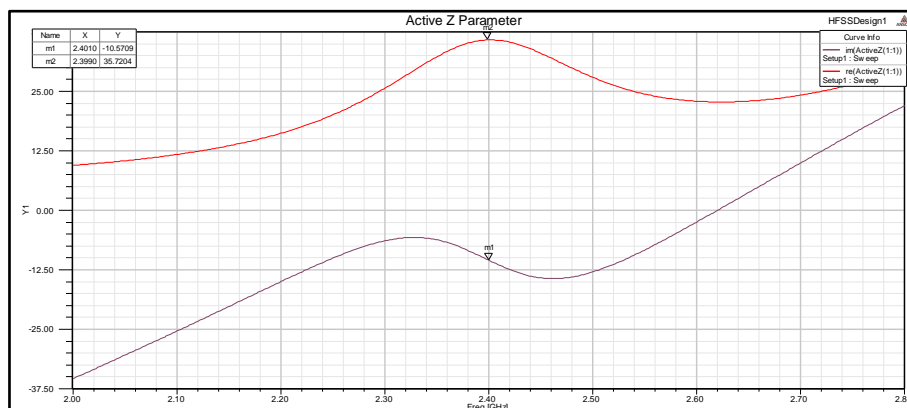


## Diseño # 2

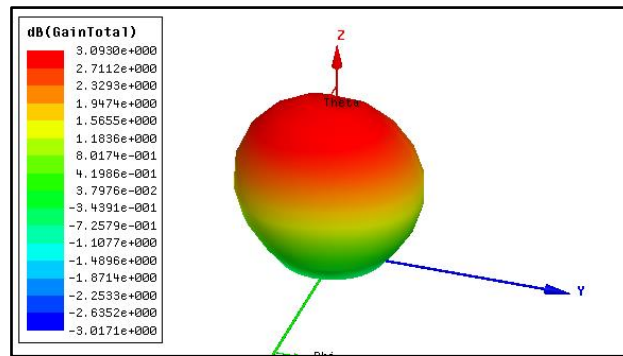
- Parámetro  $S_{11}$  vs Frecuencia



- Parámetro Z

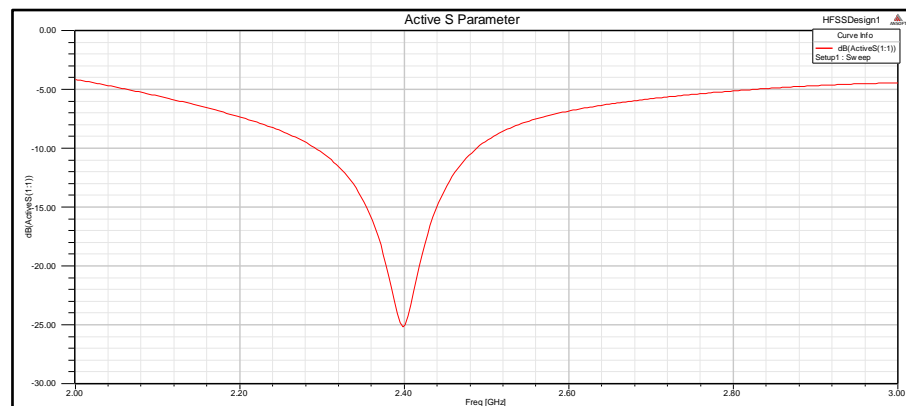


- Diagrama 3D de la Ganancia total

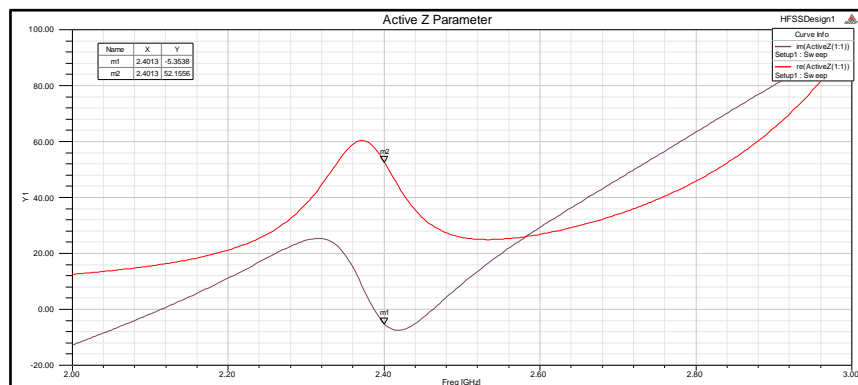


### Diseño # 3

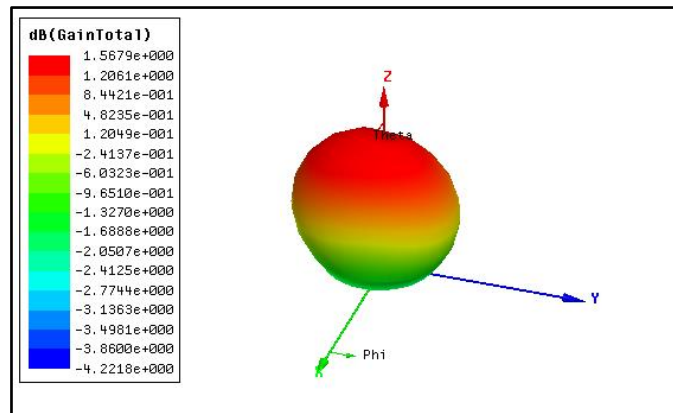
- Parámetro  $S_{11}$  vs Frecuencia



- Parámetro Z



- Diagrama 3D de la Ganancia total



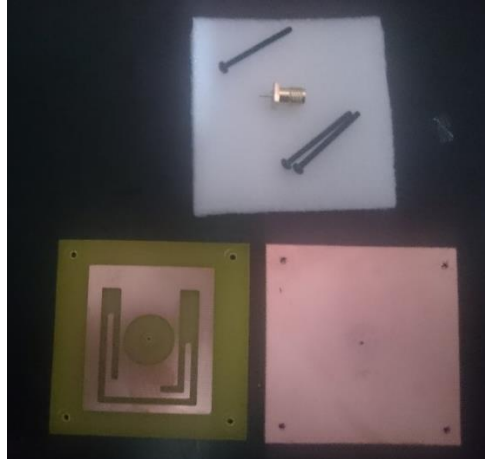
## RESUMEN DE RESULTADOS

Parámetro	Diseño # 1	Diseño # 2	Diseño # 3	Diseño final
Ancho de banda	280 MHz	200 MHz	200 MHz	340 MHz
Coefficiente de reflexión	-17.5	-14	-25	-27.67
Ganancia Total	2.84 Db	3.09 dB	1.56 Db	3.23 dB
Frecuencia de resonancia	2.30 GHz	2.38 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz

## ANEXO C

### IMPLEMENTACIÓN DE LA ANTENA MICROSTRIP

- Materiales para la implementación

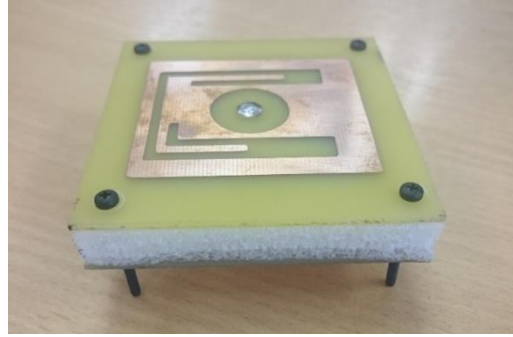


- Conector SMA soldado al plano de tierra



- Antena microstrip implementada

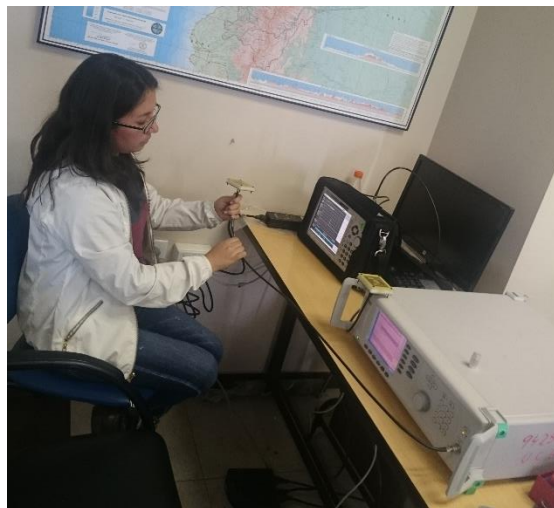




### Anexo 3.3. Prueba de continuidad



- Mediciones con la antena implementada



## EQUIPOS UTILIZADOS PARA LAS MEDICIONES

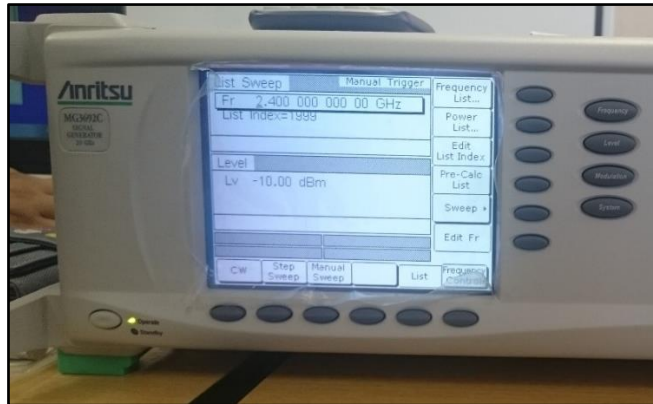
- Analizador de espectro marca ANRITSU MS2724C



- Generador de señal marca ANRITSU MG3692C



- Datos ingresados en el generador de señal



- Antena de prueba conectada al generador de señal



## RESULTADOS DE LAS MEDICIONES

- Mediciones para el patrón de radiación de la antena microstrip con frecuencia de 2.4 GHz para  $0^\circ$  Phi.

Angulo	Potencia [dBm]	Valores normalizados
90	-55,84	0,48
80	-45,2	0,85
70	-44,78	0,88
60	-43,54	0,98
50	-43,02	1,02
40	-39,5	1,30
30	-38,42	1,39
20	-38,39	1,39
10	-38,2	1,41
0	-37,85	1,43
-10	-39,89	1,27
-20	-42,32	1,08
-30	-43,1	1,02
-40	-46,5	0,74
-50	-47,1	0,70
-60	-47,65	0,65
-70	-47,5	0,66
-80	-47,98	0,63
-90	-48,25	0,60

- Mediciones para el patrón de radiación de la antena microstrip con frecuencia de 2.4 GHz para 90° Phi.

Angulo	Potencia [dBm]	Valores normalizados
90	-57,37	0,45
80	-46,02	0,84
70	-45,98	0,84
60	-43,54	1,02
50	-43,02	1,06
40	-39,5	1,32
30	-38,42	1,40
20	-38,39	1,40
10	-37,54	1,46
0	-38,76	1,37
-10	-40,02	1,28
-20	-43,24	1,04
-30	-44,81	0,93
-40	-45,35	0,89
-50	-47,24	0,75
-60	-48,33	0,67
-70	-48,87	0,63
-80	-49,6	0,57
-90	-50,15	0,53

- Mediciones para el patrón de radiación de la antena microstrip con frecuencia de 2.4 GHz para theta con intervalos de 15° en el eje x, y.

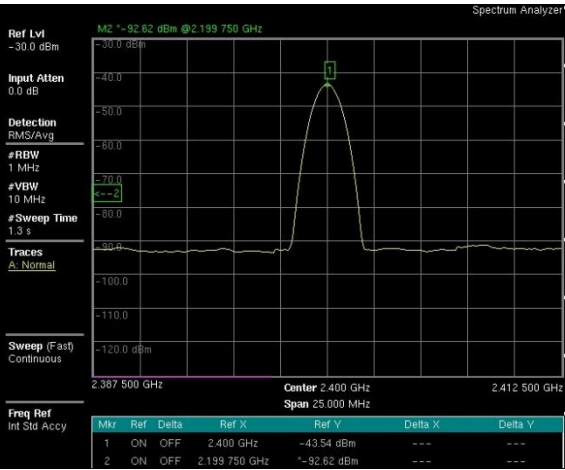
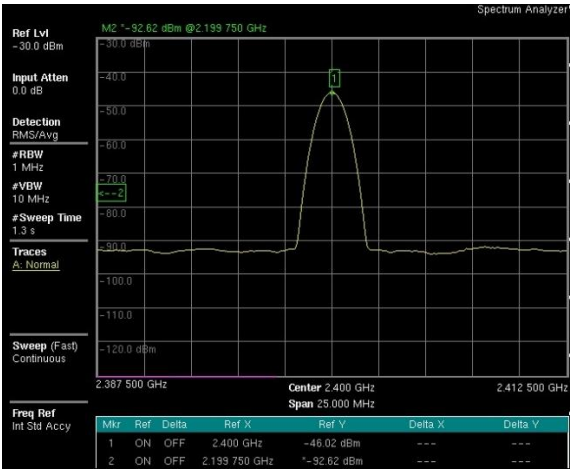
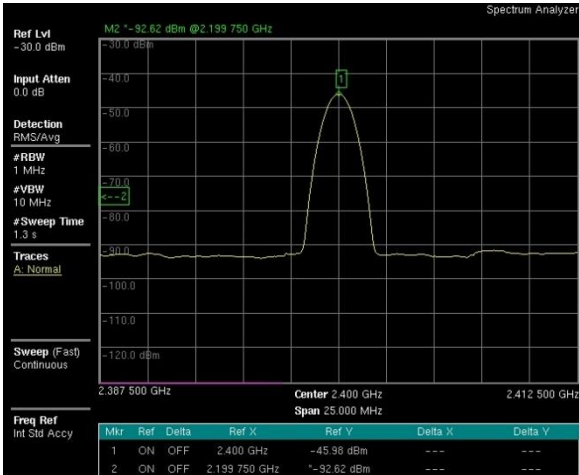
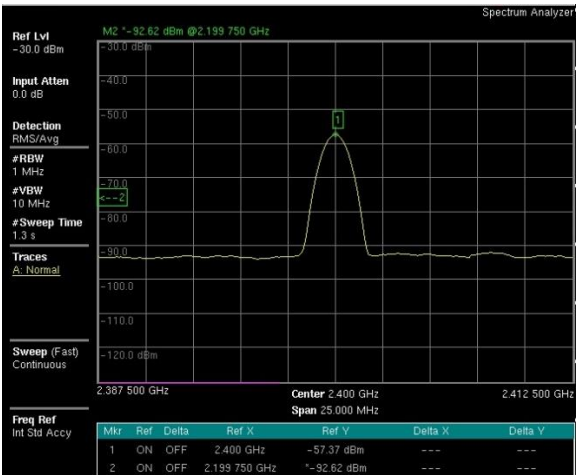
Angulo	Potencia [dBm]	Valores normalizados
0	-53,08	0,84
15	-57,03	0,90
30	-56,36	0,89
45	-54,53	0,86
60	-66,3	1,04
75	-65,64	1,03
90	-69,1	1,09
105	-61,26	0,96
120	-62,41	0,98
135	-65,76	1,04
150	-64,86	1,02
165	-62,43	0,98
180	-61,95	0,98
195	-72,46	1,14
210	-62,01	0,98
225	-64,02	1,01
240	-58,34	0,92
255	-58,25	0,92
270	-62,39	0,98
285	-62,76	0,99
300	-68,44	1,08
315	-72,42	1,14
330	-71,03	1,12
345	-70,22	1,11
360	-64,24	1,01

- Mediciones para determinar el ancho de banda por medio del nivel de potencia reflejado

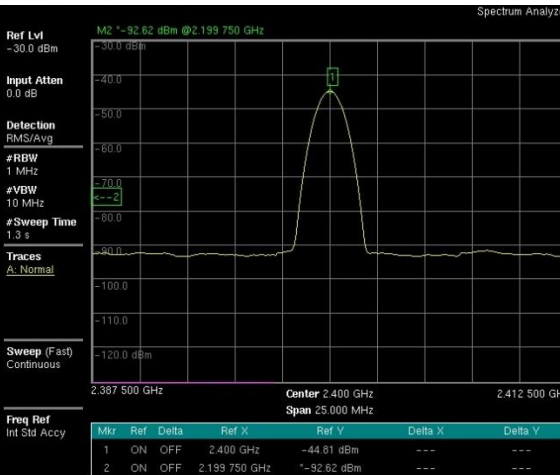
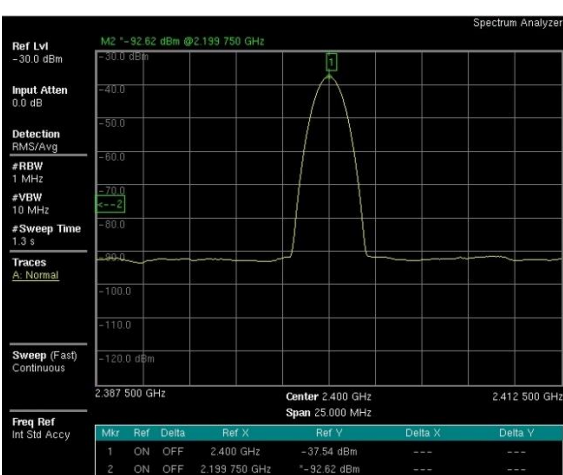
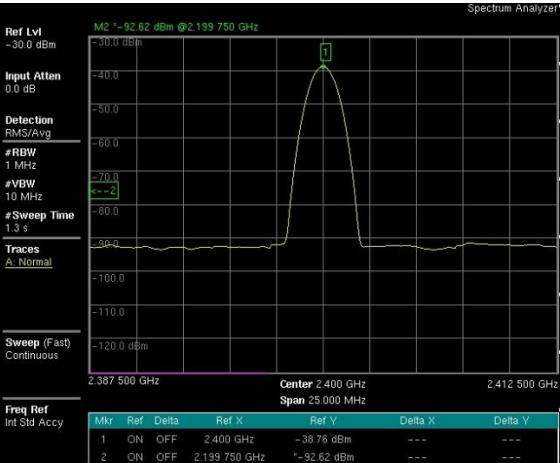
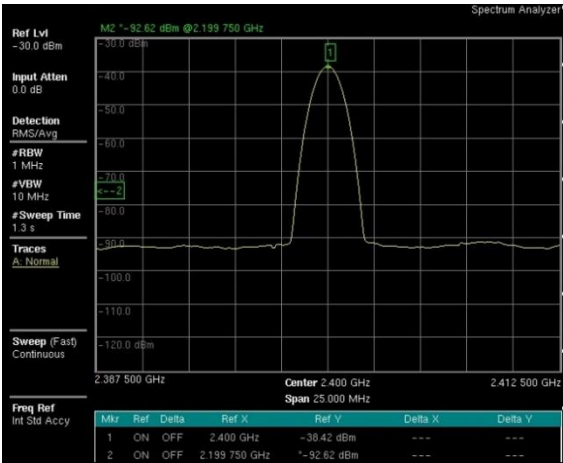
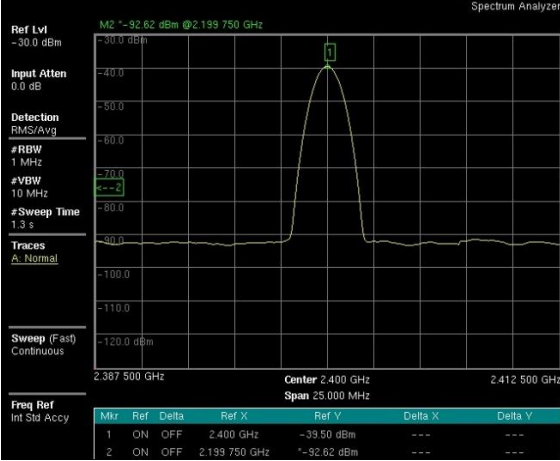
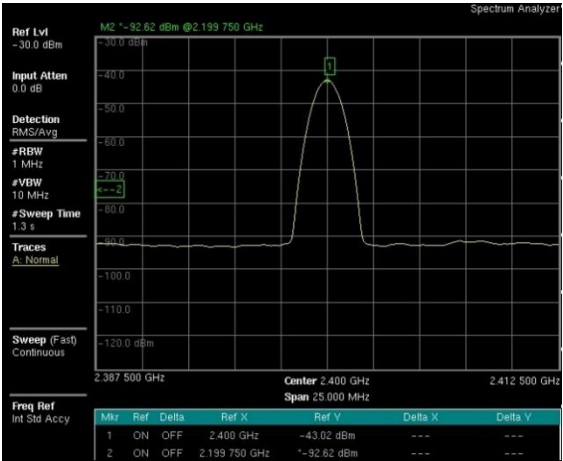
FRECUENCIA	POTENCIA REFLEJADA
2,2	-73,36
2,25	-53,62
2,3	-52,19
2,35	-48,34
2,4	-47,54
2,45	-50,06
2,5	-48,1
2,55	-55,2
2,6	-50,4
2,65	-58,3
2,7	-61,29
2,75	-68,48

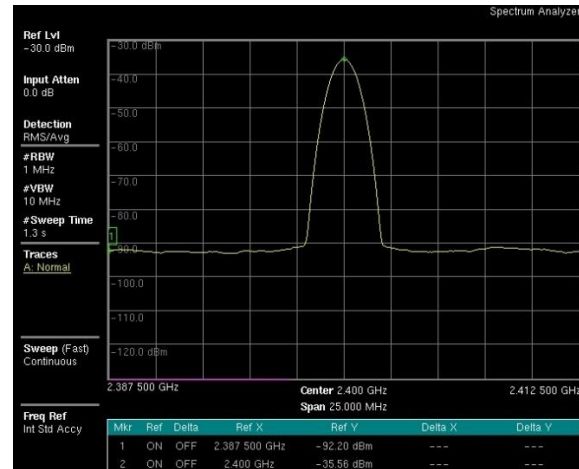
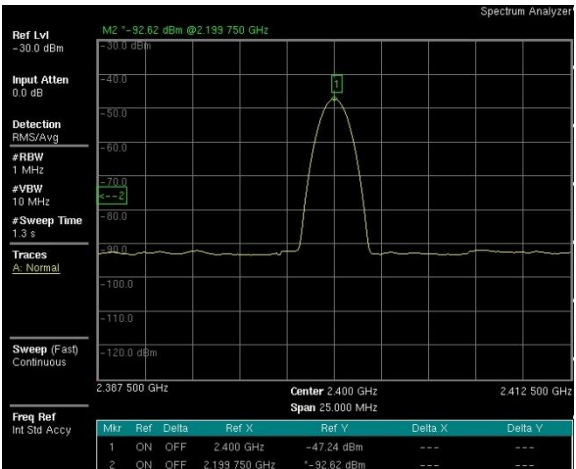
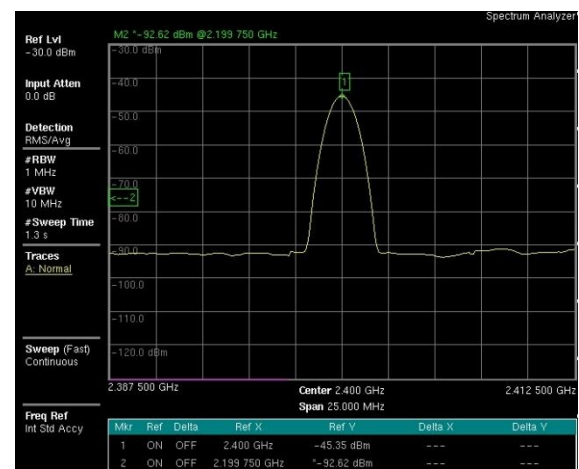
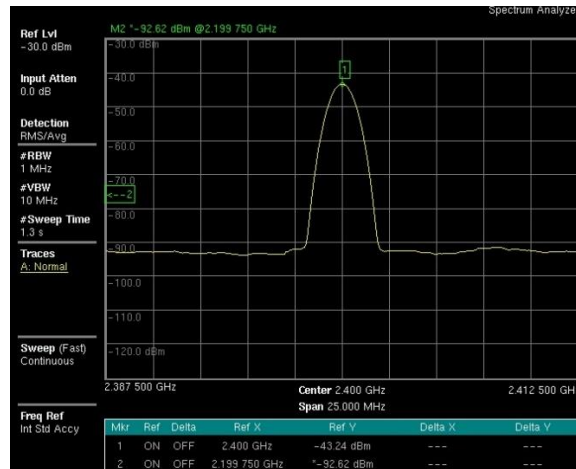
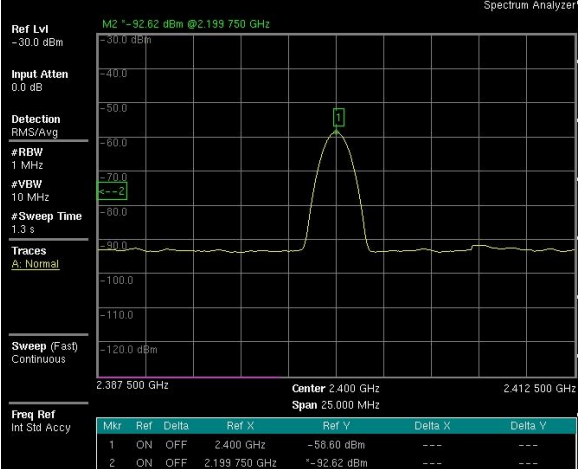
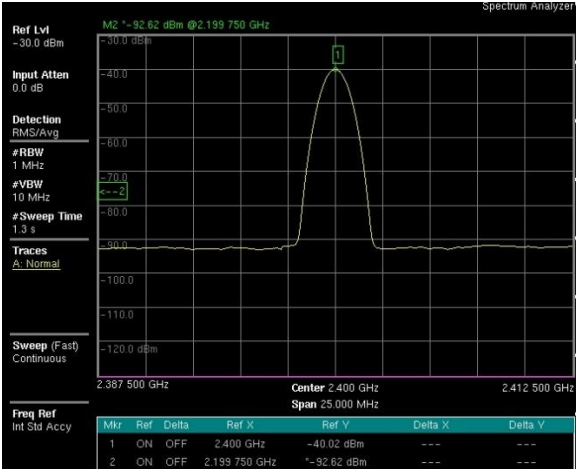
# MEDICIONES CON EQUIPOS

- FRECUENCIA 2.4 GHZ

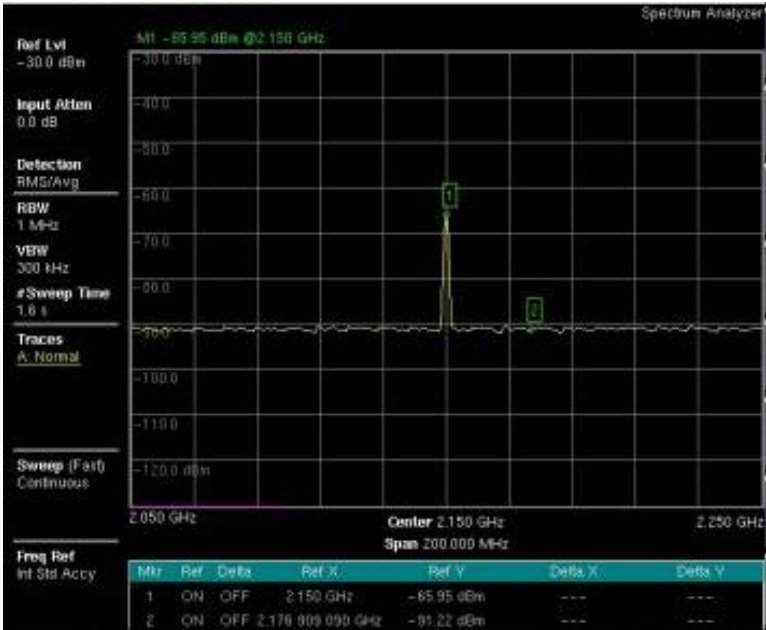




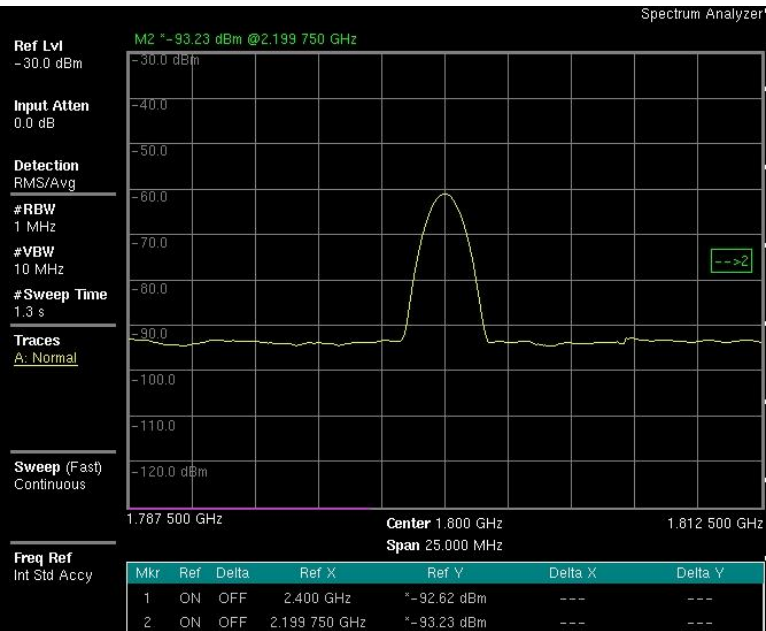




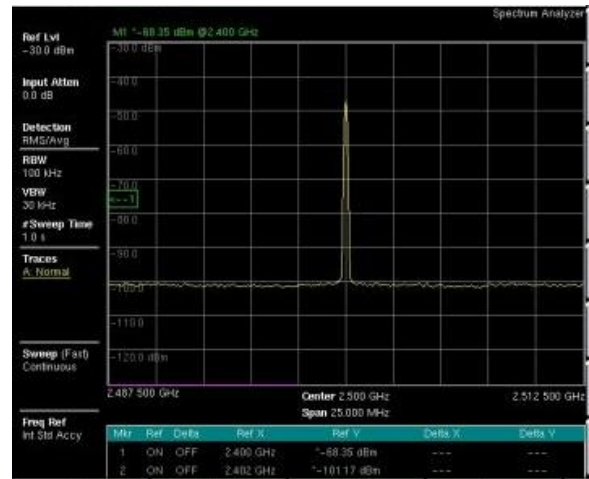
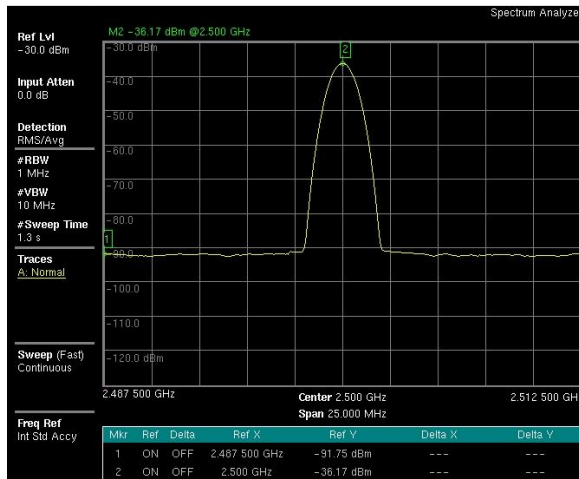
- FRECUENCIA 2.15 GHZ



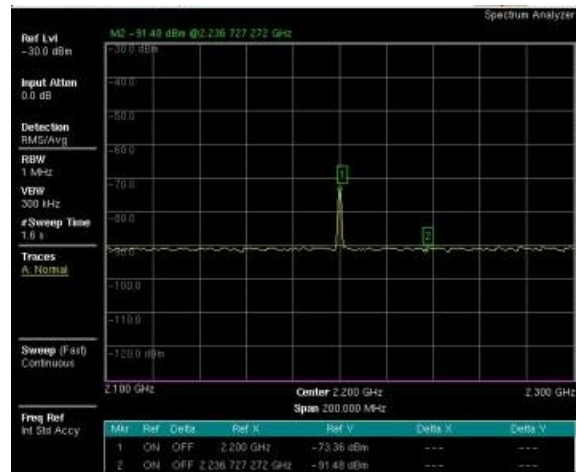
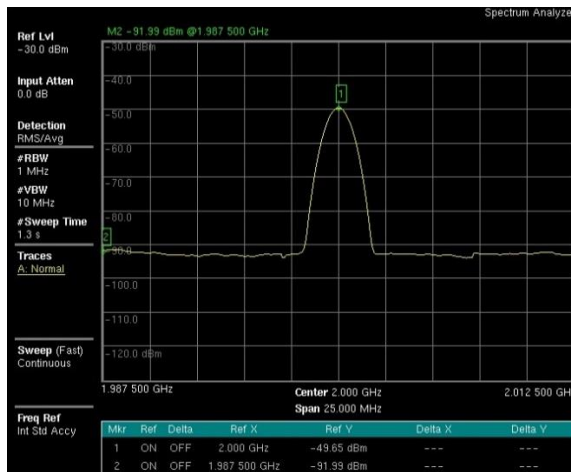
- FRECUENCIA 1.8 GHZ



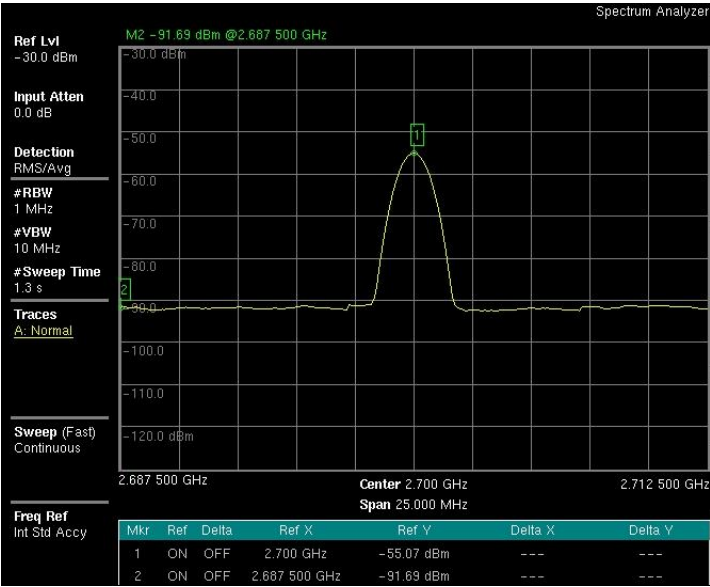
- FRECUENCIA 2.5 GHZ



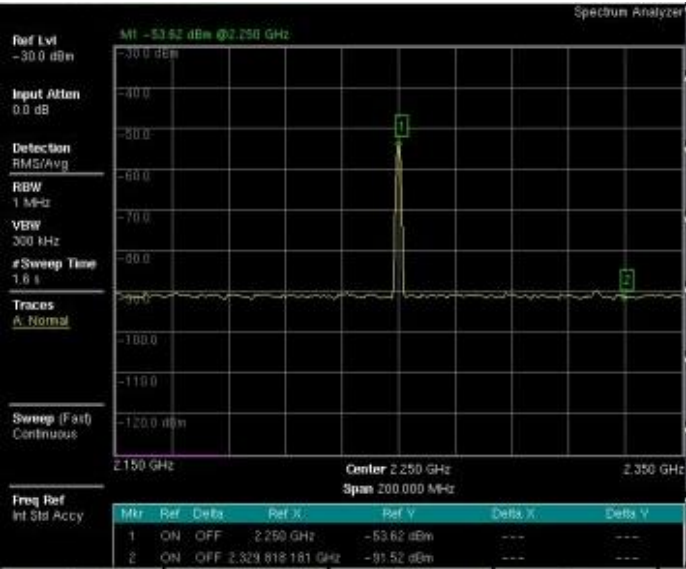
- FRECUENCIA 2 GHZ



- FRECUENCIA 2.7 GHZ



- FRECUENCIA 2.25 GHZ



# DATA SHEET DEL GENERADOR DE SEÑAL ANRITSU MG3692C

Technical Data Sheet



## RF/Microwave Signal Generators MG3690C

RF/Microwave Signal Generator,  
0.1 Hz to 70 GHz/500 GHz

### Introduction

The MG3690C is the "ideal microwave signal generator," offering unsurpassed frequency coverage, the lowest phase noise, leveled output power, spectral purity, switching speed, modulation performance, size, upgradeability, reliability, and service. Our signal generators are configurable for a broad range of applications from R&D to manufacturing and depot repair. Anritsu provides you a total solution including proven reliability and standard 3 year warranty plus pre-sale and post-sale support that is the best in the industry.



MG3697C Microwave Signal Generator



## Specifications

## MG3690C Signal Generator

### Signal Generator

The specifications in the following pages describe the warranted performance of the instrument for  $25 \pm 10^\circ\text{C}$ . "Typical" specifications describe expected, but not warranted performance. They do not guarantee the performance of any individual product.

#### Frequency Coverage

Model/Option No.	Frequency Coverage <sup>a</sup>	Output Connector
MG3691C	2 GHz to 10 GHz	2.92 mm K(f)
MG3692C	2 GHz to 20 GHz	2.92 mm K(f)
MG3693C	2 GHz to 31.8 GHz	2.92 mm K(f)
MG3694C	2 GHz to 40 GHz	2.92 mm K(f)
MG3695C	2 GHz to 50 GHz	1.85 mm V(f)
MG3697C	2 GHz to 67 GHz <sup>b</sup>	1.85 mm V(f)
Option 4	8 MHz to 2.2 GHz <sup>c</sup>	Model No. Dependent
Option 5	8 MHz to 2 GHz <sup>c</sup>	Model No. Dependent
Option 22	0.1 Hz to 10 MHz	Model No. Dependent

a. For frequency coverage beyond 70 GHz, utilize millimeter-wave multiplier 2000-1694 series (see page 19).

b. Operational to 70 GHz

c. All specifications apply  $\geq 10$  MHz

Options 4 and 5

Frequency extension down to 8 MHz

Two options are available to extend the 2 GHz low end frequency limit of the base models down to 8 MHz. Option 4 uses a digital down-converter (DDC) with successive divide-by-two circuitry. It offers the best phase noise performance of the two choices, at the expense of some analog performance < 500 MHz. In that range, analog sweep mode is not available, and pulse modulation performance is specified as typical. In addition, frequency and phase modulation mod index is scaled by the division ratio of each band of the DDC. Option 5 maintains all analog performance by using a heterodyne mixing down-converter, but does not improve phase noise performance.

Option 22

If frequency coverage down to 0.1 Hz is desired, Option 22 can be added with either Option 4 or 5.

Option 22 uses Direct Digital Synthesis (DDS) for CW and Step Sweep modes of operation. Modulation and analog sweep are not available in the DDS band. Frequency resolution < 10 MHz is 0.02 Hz. Output power across the complete instrument frequency range is degraded by 2 dB.

#### CW Mode

Accuracy	Same as internal or external 10 MHz time base
Internal Time Base Stability	With aging: $< 2 \times 10^{-9}/\text{day}$ ( $< 5 \times 10^{-10}/\text{day}$ with Option 16) With temperature: $< 2 \times 10^{-8}/^\circ\text{C}$ over $0^\circ\text{C}$ to $55^\circ\text{C}$ ( $< 2 \times 10^{-10}/^\circ\text{C}$ with Option 16)
Resolution	0.01 Hz
Internal Time Base Calibration	The internal time base can be calibrated via the System Cal menu to match an external reference (10 MHz $\pm$ 50 Hz).
External 10 MHz Reference Input	Accepts external 10 MHz $\pm$ 50 Hz (typical) 0 dBm to +20 dBm time base signal Automatically disconnects the internal high-stability time-base option (if installed) Rear panel BNC (50 $\Omega$ impedance) Selectable bandwidth for best phase noise immunity or best phase tracking performance
10 MHz Reference Output	1 V <sub>rms</sub> into 50 $\Omega$ , AC coupled Rear panel BNC (50 $\Omega$ impedance)
Phase Offset	Adjustable in 0.1 degree steps
Electronic Frequency Control (EFC)	-4 V to +4 V input range 0.2 ppm/V typical sensitivity (0.08 ppm/V typical for Option 3x) $\leq 250$ Hz modulation bandwidth Rear panel BNC (high impedance)

#### Phase-Locked Step Sweep Mode

Sweep Width	Independently selected, 0.01 Hz to full range Every frequency step in sweep range is phase-locked.
Accuracy	Same as internal or external 10 MHz time base
Resolution (Minimum Step Size)	0.01 Hz
Linear/Log Sweep	User-selectable linear or log sweep In log sweep, step size logarithmically increases with frequency.
Steps	User-selectable number of steps or the step size
Number of Steps	Variable from 1 to 10,000
Step Size	0.01 Hz to the full frequency range of the instrument If the step size does not divide into the selected frequency range, the last step is truncated.
Dwell Time Per Step	Variable from 1 ms to 99 s
Fixed Rate Sweep	Variable from 20 ms to 99 s Allows the user to set the total time of the sweep, including lock time.

# DATA SHEET DEL ANALIZADOR DE ESPECTRO ANRITSU MS2724C

Technical Data Sheet

Anritsu

## Spectrum Master™ High Performance Handheld Spectrum Analyzer MS2724C 9 kHz to 20 GHz

### Introduction

Anritsu's high performance handheld spectrum analyzer provides the wireless professional the performance needed for the most demanding measurements in harsh RF and physical environments. Whether it is for spectrum monitoring, broadcast proofing, interference analysis, RF and microwave measurements, regulatory compliance, or Wi-Fi and wireless network measurements, the Spectrum Master is the ideal instrument for making fast and reliable measurements.

### Spectrum and Interference Analyzer Highlights

- Measure: Occupied Bandwidth, Channel Power, ACPR, C/I
- Interference Analyzer: Spectrogram, Signal Strength, RSSI
- Dynamic Range: > 104 dB in 1 Hz RBW
- DANL: -160 dBm in 1 Hz RBW
- Phase Noise: -100 dBc/Hz @ 10 kHz offset at 1 GHz
- Frequency Accuracy: ±25 ppb with GPS On
- 1 Hz to 10 MHz Resolution Bandwidth (RBW)
- Traces: Normal, Max Hold, Min Hold, Average, # of Averages
- Detectors: Peak, Negative, Sample, Quasi-peak, and true RMS
- Markers: 6, each with a Delta Marker, or 1 Reference with 6 Deltas
- Limit Lines: up to 40 segments with one-button envelope creation
- Trace Save-on-Event: crossing limit line or sweep complete

### Capabilities and Functional Highlights

- LTE, TD-LTE
- GSM/EDGE
- W-CDMA/HSPA+
- TD-SCDMA/HSPA+
- CDMA, EV-DO
- Fixed, Mobile WiMAX
- AM/FM/SSB Demodulator
- Zero-span IF Output
- Gated Sweep
- GPS tagging of stored traces
- Internal Preamplifier standard
- High Accuracy Power Meter
- 4, 6, 8, 18, 26 GHz USB Sensors
- Channel Scanner
- 8.4 inch Display
- Burst Detect
- < 5 minute warm-up time
- 2.5 hour battery operation time
- Ethernet/USB Data Transfer
- MST Remote Access Tool



Spectrum Master™ MS2724C Spectrum Analyzer  
Handheld Size: 315 mm x 211 mm x 77 mm (12.4 in x 8.3 in x 3.0 in), Lightweight: 3.5 kg (7.8 lb)



## Specifications

## Spectrum Master™ MS2724C



### Spectrum Analyzer

All specifications and characteristics apply to revision 1 instruments under the following conditions, unless otherwise stated: 1) Instrument within its recommended calibration cycle, 2) After 5 minutes of warm-up time, where the instrument has completely stabilized to the ambient temperature, 3) Internal frequency reference used, 4) Cable analyzer and VNA measurements applicable after standard OSL calibration is performed using Anritsu calibration components, 5) Typical data does not include guard band for measurement uncertainty and temperature variation and is not warranted, 6) All specifications subject to change without notice, 7) Recommended calibration cycle is 12 months.

#### Measurements

Smart Measurements	Field Strength (uses antenna calibration tables to measure dBm/m <sup>2</sup> , dBW/m <sup>2</sup> , V/m, A/m, Watt/m <sup>2</sup> , Watt/cm <sup>2</sup> , or dBmV/m) Occupied Bandwidth (measures 99 % to 1 % power channel of a signal) Channel Power (measures the total power in a specified bandwidth) ACPR (adjacent channel power ratio) AM/FM/SSB Demodulation (wide/narrow FM, upper/lower SSB), (audio out only) C/I (carrier-to-interference ratio) Emission Mask (recall limit lines as emission mask)
--------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### Setup Parameters

Frequency	Center/Start/Stop, Span, Frequency Step, Signal Standard, Channel #
Amplitude	Reference Level (RL), Scale, Attenuation Auto/Level, RL Offset, Pre-Amp On/Off, Detection
Span	Span, Span Up/Down (1-2-5), Full Span, Zero Span, Last Span
Bandwidth	RBW, Auto RBW, VBW, Auto VBW, RBW/VBW, Span/RBW
File	Save, Recall, Delete, Directory Management
Save/Recall	Setups, Measurements, Limit Lines, Screen Shots JPEG (save only), Save-on-Event
Save-on-Event	Crossing Limit Line, Sweep Complete, Save-then-Stop, Clear All
Delete	Selected File, All Measurements, All Mode Files, All Content
Directory Management	Sort Method (Name/Type/Date), Ascend/Discard, Internal/USB, Copy
Application Options	Impedance (50 Ω, 75 Ω, Other)

#### Sweep Functions

Sweep	Single/Continuous, Manual Trigger, Reset, Detection, Minimum Sweep Time, Trigger Type
Sweep Mode	Fast, Performance, No FFT, Burst Detect
Detection	Peak, RMS/Avg, Negative, Sample, Quasi-peak
Triggers	Free Run, External, Video, Delay, Level, Slope, Hysteresis, Holdoff, Force Trigger Once

#### Trace Functions

Traces	Up to three Traces (A, B, C), View/Blank, Write/Hold, Trace A/B/C Operations
Trace A Operations	Normal, Max Hold, Min Hold, Average, # of Averages, (always the live trace)
Trace B Operations	A → B, B ↔ C, Max Hold, Min Hold
Trace C Operations	A → C, B ↔ C, Max Hold, Min Hold, A - B → C, B - A → C, Relative Reference (dB), Scale

#### Marker Functions

Markers	Markers 1-6 each with a Delta Marker, or Marker 1 Reference with Six Delta Markers, Marker Table (On/Off/Large), All Markers Off
Marker Types	Style (Fixed/Tracking), Noise Marker, Frequency Counter Marker
Marker Auto-Position	Peak Search, Next Peak (Right/Left), Peak Threshold %, Set Marker to Channel, Marker Frequency to Center, Delta Marker to Span, Marker to Reference Level
Marker Table	1-6 markers frequency and amplitude, plus delta markers frequency offset and amplitude

#### Limit Line Functions

Limit Lines	Upper/Lower, On/Off, Edit, Move, Envelope, Advanced, Limit Alarm, Default Limit
Limit Line Edit	Frequency, Amplitude, Add Point, Add Vertical, Delete Point, Next Point Left/Right
Limit Line Move	To Current Center Frequency, By dB or Hz, To Marker 1, Offset from Marker 1
Limit Line Envelope	Create Envelope, Update Amplitude, Number of Points (41), Offset, Shape Square/Slope
Limit Line Advanced	Type (Absolute/Relative), Mirror, Save/Recall

#### Frequency

Frequency Range	9 kHz to 20 GHz (tunable to 0 Hz), Preamp 100 kHz to 20 GHz
Tuning Resolution	1 Hz
Frequency Reference	Aging: ±1.0 ppm/10 years Accuracy: ±0.3 ppm (25 °C ±25 °C) + aging
Auto-sensing External Frequency Reference	1, 1.2288, 1.544, 2.048, 2.4576, 4.8, 4.9152, 5, 9.8304, 10, 13, 19.6608 MHz
Frequency Span	10 Hz to 20 GHz including zero span
Sweep Time	10 μs to 600 seconds in zero span
Sweep Time Accuracy	±2 % in zero span

#### Bandwidth (Performance Sweep Mode)

Resolution Bandwidth (RBW)	1 Hz to 10 MHz in 1-3 sequence ±10 % (-3 dB bandwidth)
Video Bandwidth (VBW)	1 Hz to 10 MHz in 1-3 sequence (-3 dB bandwidth)
RBW with Quasi-Peak Detection	200 Hz, 9 kHz, 120 kHz (-6 dB bandwidth)
VBW with Quasi-Peak Detection	Auto VBW is On, RBW/VBW = 1